

Zool.

419

8

Zool.
479 f

Grech 11

Untersuchungen über den **Flug der Vögel.**

Von

Joh. Jos. Prechtl,

k. k. wirklicher niederösterreichischer Regierungsrath, Director des k. k. polytechnischen Instituts in Wien, Mitglied der k. k. Landwirtschaftsgesellschaften in Wien, Gratz, Laibach und Brünn, des Vereins zur Ermunterung des Gewerbsgeistes in Böhmen, der Gesellschaften für Naturwissenschaften und Heilkunde zu Heidelberg und Dresden, Ehrenmitglied der Akademie des Ackerbaues, des Handels und der Künste in Verona, des Industrie- und Gewerbevereins in Innerösterreich, der k. k. Gesellschaft der Ärzte in Wien; korrespond. Mitglied des k. k. Lombardischen Instituts der Wissenschaften in Mailand, des k. k. Instituts der Wissenschaften in Venedig, der königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften, der Gesellschaft zur Beförderung der nützlichen Künste und ihrer Hülfswissenschaften zu Frankfurt a. M., auswärtigem Mitglied des königl. polytechn. Vereines in Bayern, ordentl. Mitglied der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften in Marburg; Ehrenmitglied des Vereins zur Beförderung des Gewerbflusses in Preussen, der allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesammten Naturwissenschaften, des Apothekervereines im Großherzogthum Baden, der Gesellschaft zur Vervollkommnung der Künste und Gewerbe in Würzburg, des großherzoglich hessischen Gewerbevereins in Darmstadt, des Gewerbevereins für das Königreich Hannover etc



Mit drei Kupfertafeln.

W i e n.

Druck und Verlag von Carl Gerold.

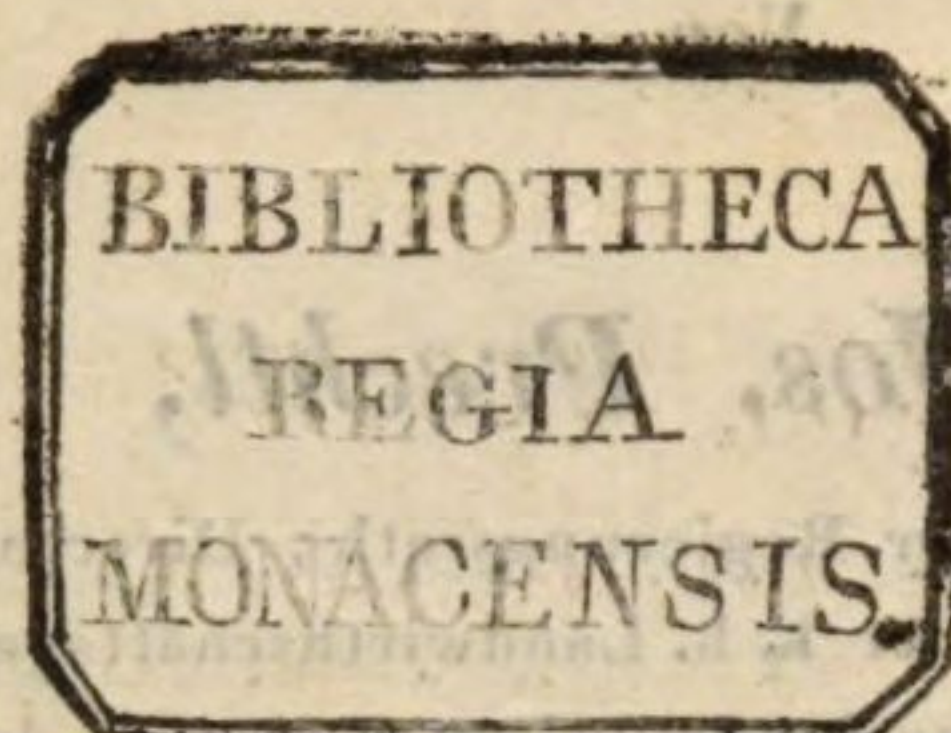
1846.

143. 9.

Untersuchungen

über den

Flug der Vögel.



K. A. württembergischer niederrheinischer
niederer Rheinstrom in Witten, Mitglied
des Gewerbevereins in
Hildesheim, der Gesellschaft der Naturwissenschaften und Hildesheim
nach Hildesheim, Ehrenmitglied der Akademie der Wissenschaften und der
Hilfste in Vörsen, des Industrie- und Gewerbevereins in Hildesheim, der K. A. Ge-
sellschaft der Naturwissenschaften in Witten, Ehrenmitglied der K. A. Gewerbevereins
der Wissenschaften in Hildesheim, des K. A. Instituts der Wissenschaften in Vörsen,
der kaiserl. bayerischen Akademie der Wissenschaften, der Gesellschaft zur Beför-
derung der nützlichen Künste und ihrer Hilfswissenschaften zu Frankfurt a. M.,
auswärtiges Mitglied des kaiserl. polytechn. Vereins in Bayern, ordentl. Mitglied
der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften in Witten,
Ehrenmitglied des Vereins zur Beförderung des Gewerbes in Hildesheim, der
allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften,
des Apothekervereins im Großherzogthum Baden, der Gesellschaft zur Ver-
besserung der Industrie und Gewerbe in Witten, des großherzoglich badischen
Gewerbevereins in Hildesheim, des Gewerbevereins für das Königreich
Hannover etc.

Mit zwei Kupferstichen.

W i e n.

Druck und Verlag von Carl Gerold.

1816.

V o r w o r t.

Die Beobachtungen und Untersuchungen, deren Resultate die nachfolgende Schrift enthält, sind vor 40 Jahren begonnen, und im Verlaufe der Zeit, je nach Umständen, oft nach langen Unterbrechungen, wieder aufgenommen und fortgesetzt worden. In einem Alter angelangt, in welchem keine Zeit mehr übrig bleibt, in die man eine etwa noch vorzunehmende Arbeit verschieben könnte, entschloß sich der Verfasser, aus den gesammelten, ziemlich voluminösen Notaten das Wesentliche in der nachfolgenden Abhandlung zusammen zu stellen.

Der Flug der Vögel hat von jeher die Aufmerksamkeit der Naturforscher beschäftigt, und von *Aristoteles* bis auf die neuere Zeit sind Versuche zur Erklärung desselben gemacht worden. Sie haben jedoch zur gründlicheren Erforschung dieses Gegenstandes wenig beigetragen. Die Natur hat den Flug der Vögel (und der Insekten) durch die Schnelligkeit der Bewegungen, die ihm eigen ist, und durch das Bestreben, in diesem Mechanismus die möglichste Ökonomie der Kraft zu erreichen, gewissermaßen in ein Geheimniß gehüllt, das nur durch sorgfältige physiologische Untersuchungen, verbunden mit vielfältigen unter verschiedenen Umständen angestellten Beobachtungen und mit der Beziehung beider auf bekannte

mechanische Gesetze entschleiert werden kann. In wiefern daher diese Arbeit die erste ist, welche diesen naturwissenschaftlichen Gegenstand innerhalb seines Umfanges zu erfassen gesucht hat, verdient sie einige Nachsicht wegen der Unvollkommenheiten, die ihr ankleben.

Wien, im August 1845.

Gewichte und Mafse sind in dieser Abhandlung durchaus in Wiener Mafs und Gewicht angegeben, weil diese Wägungen und Abmessungen ursprünglich mit diesem Mafse und Gewichte genommen worden sind.

Ein Wiener Pfund ist = 1 Pfund Bayerisch,

= 1.198 Pfund Kölnisch, Preussisch,
Sächsisch oder Würtem-
bergisch.

Ein Wiener Fufs ist = 1.007 Fufs Preussisch oder Rhein-
ländisch.

= 1.084 Bayerisch,

= 1.119 Sächsisch,

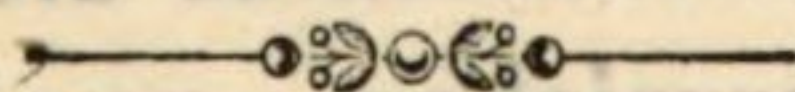
= 1.103 Würtembergisch.

Ein Meter = 3.1635 Wiener Fufs.

Ein Fufs engl. = 0.964 Wiener Fufs.

Ein Kilogramm = 1.785 Wiener Pfund.

Ein Pfund engl. = 0.809 „ „



Zweiter Theil.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1

Erster Theil.

Naturlehre des Fluges	9
---------------------------------	---

Erstes Kapitel.

Beschreibung der inneren Flugorgane und ihrer Funktionen	10
I. Der Knochenbau	11
A. Der Rumpf	—
B. Der Flügelarm	20
II. Die Muskeln und ihre Funktionen	29
A. Muskeln zur Bewegung des Oberarms	31
B. Muskeln zur Bewegung des Vorderarms	39
C. Muskeln zur Bewegung der Mittelhand und der Finger	43
a. Muskeln, welche am Vorderarm liegen	—
b. Muskeln, welche an der Mittelhand liegen	51
D. Muskeln, welche zur Bildung der inneren Flügeldecke wirken	54
E. Muskeln und Organe, welche am Rumpfe zum Fluggeschäfte mitwirken	56
Das Respirationssystem	59
Muskeln des Schwanzes	76

Zweites Kapitel.

Die äußere Gestaltung des Vogels	78
I. Die Gestaltung des Flügels	—
II. Verhältnisse der Flügeltheile	100
III. Gestaltung des Körpers	110

Drittes Kapitel.

Von den Flugbewegungen	115
----------------------------------	-----

Zweiter Theil.

Mechanik des Fluges	133
-------------------------------	-----

Erstes Kapitel.

Vom Widerstande der Luft	135
------------------------------------	-----

I. Von der Lage des Widerstandspunktes	136
--	-----

II. Von dem Mafse des Luftwiderstandes	143
--	-----

Zweites Kapitel.

Von der Wirkung des Flügelschlages zur Hebung .	155
---	-----

Drittes Kapitel.

Von der Wirkung des Flügelschlages zur Vorwärts- bewegung	169
--	-----

Viertes Kapitel.

Von der Form des Flügels	183
------------------------------------	-----

Fünftes Kapitel.

Spezielle Nachweisungen	195
-----------------------------------	-----

Sechstes Kapitel.

Vom Schwerpunkte des Vogels	212
---------------------------------------	-----

Siebentes Kapitel.

Vom Flügelgewichte	217
------------------------------	-----

Achtes Kapitel.

Von der Flügellänge	223
-------------------------------	-----

Neuntes Kapitel.

Von dem Niedersinken und dem Schweben	225
---	-----

Zehntes Kapitel.

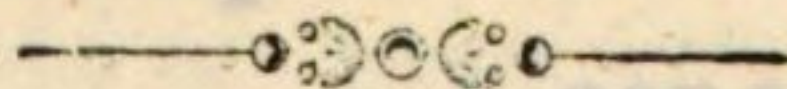
Vom Einflusse der Windströmung	237
--	-----

Elfte Kapitel.

Vom Fluge in der Höhe	241
---------------------------------	-----

Zwölftes Kapitel.

Von der Muskelkraft im Fluge	247
--	-----



E i n l e i t u n g.

§. 1.

Die Vögel sind durch ihr Vermögen, sich in der Luft zu erheben und in derselben mit bedeutender Geschwindigkeit in beliebiger Richtung sich zu bewegen, ausgezeichnet. Ihr ganzer Habitus ist durch das Vorwalten dieser Flugfunktionen ausgeprägt oder beherrscht. Ihre Körperbildung ist daher im Ganzen sehr gleichmässig, mehr als dieses bei den übrigen Thieren, die auf der Erde oder im Wasser leben und sich bewegen, der Fall ist. Ein verhältnissmässig zu den Säugethieren langer Hals, der im Fluge ausgestreckt, mit dem ringsum dicht mit Federn bekleideten Knochengerüste des Rumpfes einen kegelförmigen Körper bildet, der mit geringem Widerstande die Luft durchschneidet, — die Arme als Flügel ausgerüstet, durch deren Niederschlag in der Luft ein Widerstand erzeugt wird, der als Kraft zur Hebung und Bewegung des Körpers wirkt, — ein aus Federn gebildeter Schwanz, der in beliebiger Fläche sich ausbreitet, sind, nebst einem mit dem Flugvermögen in Verbindung stehenden, ausgedehnten Respirationssysteme die wesentlichen Eigenheiten des Körperbaues des Vogels. Die Grenzen, innerhalb welcher diese Einrichtungen variiren, liegen bei denjenigen Vögeln, welche als eigentliche Flieger be-

zeichnet werden können, so verschieden sonst auch ihre Lebensweise seyn mag, nicht bedeutend aus einander. Sobald daher die wesentlichen Flugfunktionen sich verkümmern oder verlieren, so ändert sich auch sogleich mehr und weniger die ganze Körperbildung, wie beim Pinguin, dem Strauß.

§. 2.

Übrigens sind nicht alle Vögel für den Flug gleichmäfsig ausgerüstet, sondern in der Abänderung der Flugfunktionen finden innerhalb der vorher angedeuteten Grenze zahlreiche Modifikationen Statt, die hauptsächlich durch ihre Nahrungsverhältnisse bedingt sind. Grofse Vögel, die eine Quantität Nahrung brauchen, die sie nur auf einem ausgedehnten Reviere zu finden im Stande sind, erheben sich hoch in die Luft und durchstreichen grofse Räume in kurzer Zeit, um mit scharfem Auge das zu ihrer Nahrung dienliche auf der Erdoberfläche auszuspähen; so die Geier, die Adler. Andere, welche die Raubthiere ihrer Klasse bilden und Vögel in der Luft erhaschen, die ihre Nahrung sind, haben deshalb eine solche Modifikation ihrer Flugorgane, um jene schnellen und verschiedenen Bewegungen auszuführen, die zu diesem Fange erforderlich sind; diese Vögel erheben sich also auch nicht höher, als ihr Jagdrevier ihnen vorschreibt. Kleinere Vögel, die von Insekten leben, bleiben eben so in der Luftregion, die von diesen bewohnt wird.

§. 3.

Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Vogel, der zu den guten Fliegern gehört, seinen Weg durch die Luft auf grofse

Strecken zurücklegt, ist von jeher ein Gegenstand der Bewunderung gewesen. Kein anderes der schnellfüßigen Thiere kann damit in Vergleich gebracht werden; früher konnte man diese Geschwindigkeit nur mit jener des Windes vergleichen; in neuester Zeit sind jedoch die Lokomotivfahrten der Eisenbahnen mit den Luftbewohnern in Wettstreit getreten.

Die genauere Ermittlung dieser Geschwindigkeit bei verschiedenen Vögeln, die zu den besten Fliegern gehören, ist jedoch keine leichte Sache, und läßt sich durch Beobachtung nur annähernd bestimmen. Zur Erreichung der größten Geschwindigkeit, deren der Vogel fähig ist, gehört auch seine größte Kraftanstrengung, die dann auch nur für kurze Zeit anhalten, folglich nur schwer und sehr zufällig ein Gegenstand der Beobachtung seyn kann. Zur Bestimmung der Geschwindigkeit eines anhaltenden Fluges ist die Beobachtung der Zeit und des Weges erforderlich, wobei es unbestimmt bleibt, ob dieser Weg ein geradliniger war, und ob der Flug gleichmäfsig oder nicht geschah, so dafs sich dabei nur ein annäherndes Mittel ergeben kann. Bei der Saatkrähe, die nach dem Kolkraben unter den Krähen am besten fliegt, beträgt nach mehrfachen Beobachtungen die Geschwindigkeit von 25' bis 36' in 1 Sekunde. Eine Feldtaube (Haustaube), die nach Hause eilt, macht beiläufig 40' in 1 Sekunde.

Eine Brieftaube hatte den Weg von Paris nach Lüttich (20 deutsche oder geographische Meilen zu 3900° W.) in 3 $\frac{1}{4}$ Stunden zurückgelegt. Diefs gibt in gerader Richtung 40' in 1 Sekunde. Im November 1828 wurden 56 Lütticher Tauben in

London losgelassen um 4 Uhr 34 Min. Morgens. Eine traf um 10 Uhr 25 M. in Lüttich ein, die andern bis Mittag. Die erste hatte demnach 10 deutsche Meilen in 1 Stunde gemacht, was 65' in 1 Sekunde gibt; die übrigen 52' in 1 Sekunde. Noch neuerlich wurde ein ähnlicher Versuch von Brighton nach London gemacht. Von zwei Tauben, die am ersteren Orte zu gleicher Zeit losgelassen wurden, kam die eine nach 70 Minuten, die andere nach 78 Minuten in London an. Die Entfernung zu 49 Meilen engl. genommen, hatte sonach die erste Taube 59'4 W. und die zweite 53'3 W. in 1 Sekunde zurückgelegt.

Die Wandertaube in Nordamerika legt nach den Angaben der Reisebeschreibungen 140 deutsche Meilen in 24 Stunden zurück. Zieht man davon 8 Stunden für die Nachtruhe ab, so erhält man die Geschwindigkeit von 64' in 1 Sekunde. Ein Falke wurde von den kanarischen Inseln nach Andalusien gesendet; von hier entwischt, wurde er 16 Stunden nachher in Teneriffa gefunden. Da hier der ganze Weg über die See geht, folglich die ganze Flugzeit zu rechnen ist, so würde dieß beiläufig die Geschwindigkeit von 68' in 1 Sekunde ergeben.

Nach *Büffons* Angabe verliert man einen Adler in weniger als drei Minuten aus dem Gesicht; nimmt man die im Flügelschlage sichtbare Breite des Vogels zu 4', und den Sehewinkel zu 1 Minute, so beträgt diese Entfernung 13750', folglich die Geschwindigkeit = 76' in 1 Sekunde.

So viel Schwankendes auch in diesen letzteren Angaben liegt, so läßt sich doch so viel mit einiger Bestimmtheit annehmen, daß

die Geschwindigkeit der besten Flieger bis an 65' in 1 Sekunde betragen könne, und bei der größten Anstrengung auf kürzere Strecken wohl noch mehr.

§. 4.

Vermöge ihrer Geschwindigkeit legen daher die Vögel im Vergleiche mit der analogen Kraftanstrengung anderer Thiere große Räume zurück. Wenn ein Pferd ohne Last 6' in 1 Sekunde macht, so kann es in einem Tage ohne erschöpfende Anstrengung 9 Meilen zurücklegen. Mit der gleichen relativen Anstrengung wird der gute Flieger bei einer mittleren Geschwindigkeit von 36' in derselben Zeit einen Weg von 54 Meilen machen. Den Vögeln wird es daher leicht, den beliebigen, ihrer Nahrung günstigen Aufenthalt nach der Jahreszeit der verschiedenen Länder zu wählen. Die Ausdauer im Fluge ist übrigens bei diesen Vögeln bemerkenswerth, jedoch nicht außerordentlich im Vergleiche mit der Muskelthätigkeit anderer Thiere, z. B. des wilden Pferdes der amerikanischen Prairien. Die beständige und verschiedenartige Übung derselben Muskeln erklärt hinreichend diese Ausdauer. Die Schwalbe fliegt und flattert den ganzen Tag umher, mit ihrem Insektenfange beschäftigt; aber diese Flugbewegungen sind so mannigfaltig wechselnd, daß nur kurze Zeit hindurch derselbe Muskel auf dieselbe Art in Anspruch genommen wird. Bei den großen Vögeln dauert der Flug mit ganz gleichmäßigem Flügelschlage selten eine sehr lange Zeit hindurch; sie wechseln vielmehr mit verschiedenen Bewegungen ab, besonders durch das Schweben, um die Muskeln relativ ausruhen zu lassen. Aller-

dings sind diejenigen Vögel, die mit ziemlich gleichmäßigem Flügelschlage große Reisen zu machen gezwungen sind, wie die wilden Gänse und alle kleineren Zugvögel, mit bedeutend größeren Brustmuskeln ausgestattet.

§. 5.

Die nachfolgenden Untersuchungen haben die Erklärung des Fluges der Vögel nach seinen physischen und mechanischen Bedingungen zum Zwecke. Sie müssen also die Kenntnisslehre der Flugorgane und die daraus folgende physische Erklärung der Flugbewegungen begreifen, was der Gegenstand des ersten Theiles ist; im zweiten Theile werden die mechanischen Grundsätze entwickelt, nach welchen, auf dem Grunde jener physischen Erkenntniss und zur Bestätigung derselben, die Hauptmomente des Fluges der Rechnung unterworfen werden können.

Naturlehre des Fluges.

Erster Theil.

Naturlehre des Fluges.

Bei den Vögeln, welche als Flieger ausgestaltet sind, sind die als Flügel gestalteten Arme die natürlichen Werkzeuge ihrer Ortsveränderung in der Luft. Durch den Widerstand, welchen diese Flügel bei ihrer Bewegung gegenwirkenden Luft erleiden, erhalten sie für diese Bewegung den nöthigen Stützpunkt, auf dem sie ihren Körper gegen den Widerstand, den seine ausgestreckten und abwärts und rückwärts bewegten Arme im Wasser erleiden, nicht nur den Überschuss seines Gewichtes über dasjenige des Wassers, das von seinem Körper verdrängt wird, ausgleicht, sondern auch den Impuls zur Bewegung nach vorwärts erhält. Für diesen in einem so dünnen Elemente, wie die Luft, von dem das Gewicht des Rumpfes gehalten, den der Körper einnimmt, gegen das Gewicht des Körpers selbst nicht in Anschlag zu bringen ist, zu erzeugenden Widerstand des Flügelschlags ist eine Kraft erforderlich, die wenigstens dem Gewichte des Körpers selbst gleich ist, wenn letzterer gehoben werden soll. Diese Bewegung der Flügel erfordert daher auch einen übereinstimmenden Bau des Körpers oder des Rumpfes selbst, sowohl in seiner festen Gestaltung für die Einlenkung der Flügel, als für die Bewegung nach vorwärts. Die Art und Weise, wie die Flügel selbst wirken, kann übrigens auch nur durch die Kenntniß der Muskeln, welche sie in Bewegung setzen, und ihrer Wirkungsart, so wie durch die Kenntniß der einzelnen Theile des

Erster Theil.

Die Naturgeschichte des Fluges.

Naturlehre des Fluges.

§. 6.

Bei den Vögeln, welche als Flieger ausgestattet sind, sind die als Flügel gestalteten Arme die natürlichen Werkzeuge ihrer Ortsveränderung in der Luft. Durch den Widerstand, welchen diese Flügel beim Niederschlage von der gegenwirkenden Luft erleiden, erhalten sie für diese Bewegung den nöthigen Stützpunkt, auf ähnliche Art, als der Schwimmer durch den Widerstand, den seine ausgestreckten und abwärts und rückwärts bewegten Arme im Wasser erleiden, nicht nur den Überschufs seines Gewichtes über dasjenige des Wassers, das von seinem Körper verdrängt wird, ausgleicht, sondern auch den Impuls zur Bewegung nach vorwärts erhält. Für diesen in einem so dünnen Elemente, wie die Luft, von dem das Gewicht des Rauminhaltes, den der Körper einnimmt, gegen das Gewicht des Körpers selbst nicht in Anschlag zu bringen ist, zu erzeugenden Widerstand des Flügelniederschlages ist eine Kraft erforderlich, die wenigstens dem Gewichte des Körpers selbst gleich ist, wenn letzterer gehoben werden soll. Diese Bewegung der Flügel erfordert daher auch einen übereinstimmenden Bau des Körpers oder des Rumpfes selbst, sowohl in seiner festen Gestaltung für die Einlenkung der Flügel, als für die Bewegung nach vorwärts. Die Art und Weise, wie die Flügel selbst wirken, kann übrigens auch nur durch die Kenntniss der Muskeln, welche sie in Bewegung setzen, und ihrer Wirkungsart, so wie durch die Kenntniss der einzelnen Theile des

Flügels begriffen werden. Zur Verständigung des Flugmechanismus können wir daher diese Untersuchungen in drei Kapiteln behandeln, von denen das erste die inneren Flugorgane und ihre Funktionen, nämlich 1) den Knochenbau, in wiefern er unmittelbar zu diesem Mechanismus in Beziehung steht, 2) die Muskeln, als die wesentlichen Bewegungsorgane dieser Theile betrachtet; das zweite Kapitel die äußere Gestaltung des Körpers, in wiefern sie für den Flug wirksam ist, und das dritte die Flugbewegungen selbst behandelt.

Erstes Kapitel.

Beschreibung der inneren Flugorgane und ihrer Funktionen.

§. 7.

Bei der Bestimmung der Lage der einzelnen Theile des Vogelkörpers werden dieselben gewöhnlich in Vergleichung mit analogen Theilen des menschlichen Körpers betrachtet, sonach das Skelett oder der Körper des Vogels in aufrechter Stellung gleich dem menschlichen angenommen, wornach man die Theile, welche gegen den Kopf zu liegen, als die oberen, jene gegen den Steiß als die unteren, jene gegen den Rücken als die hinteren, gegen die Brust als die vorderen bezeichnet. Hiernach nennt man eben so bei den Flügelarmen diejenigen Theile, welche der Schulter näher liegen, die oberen, die davon entfernteren die unteren; die eine Seite des Armes heisst die innere, die davon abgekehrte die äußere, endlich die Seite, welche der Brust zugewendet ist, die vordere, jene gegen den Rücken die hintere. Diese Bezeichnungsart ist für den Körper des Vogels unpassend, gibt leicht zu Undeutlichkeit oder Verwirrung Anlaß, und ist im Be-

sondern zur Bestimmung der richtigen Wirkungsart der Flugmuskeln ganz unzulässig. Denn die natürliche Lage des Vogelkörpers und der Flügel ist die horizontale; sein Rücken ist der obere, seine Brust- und Bauchregion der untere Theil des Körpers; sein Kopf ist vorn, sein Schwanz hinten; die Flügel bewegen sich nach unten, nicht nach vorn; man bezeichnet die beiden Flächen des Flügels mit der oberen und unteren Fläche, oder dem Ober- und Unterflügel, das Ende des Flügels als dessen äußerste Spitze, alles dem Sprachgebrauche gemäß. Wir bezeichnen daher bei der Bestimmung der Lage der Knochen und Muskeln des Vogelkörpers und der Flügel diejenige Seite, welche bei der horizontalen Ausbreitung des Flügels nach vorn, d. i. gegen den Kopf zu liegt, als die vordere, die entgegengesetzte, d. i. diejenige, die nach hinten oder gegen den Schwanz zu liegt, als die hintere; diejenige Seite, welche in der Ebene des Rückens oder nahe parallel zu ihr liegt, als die obere, die entgegengesetzte, welche der Ebene durch Brust und Bauch korrespondirt, als die untere; endlich diejenigen Theile, welche relativ näher gegen die Schulter zu liegen, als die inneren, und jene, welche in der Richtung nach der Flügelspitze zu liegen, als die äußeren.

I.

Der Knochenbau.

A. Der Rumpf.

§. 8.

Das Skelett des Rumpfes des Vogelkörpers stellt in Beziehung auf den Flugmechanismus das Maschinengerüste vor, von welchem aus die bewegende Kraft die gegebene Last zu gewältigen hat, dessen Stärke und Zusammensetzung daher dieser Wirkung angemessen seyn muß. Wenn gleich im Allgemeinen

dem Baue der Säugethiere analog, ist es daher in seinen Theilen so modifizirt, daß es ein steifes, verknöchertes, in den einzelnen Theilen nur wenig bewegliches Gerüste bildet, an welches die Flügelarme eingelenkt sind.

§. 9.

Die Rückenwirbel, an denen die Rippen eingelenkt sind, sind bei den Fliegern wenig beweglich, zum Theil an einander verwachsen, so daß ihre Dornfortsätze eine über den Rücken fortlaufende Leiste bilden, deren Einschnitte nur die Zahl dieser Wirbel bemerklich machen. Die letzten dieser Wirbel liegen selbst noch unter dem langgedehnten Darmbein, und sind mit diesem und dem Kreuzbeine verwachsen. Die Wirbel des Kreuzbeines selbst sind zu einer einzigen festen Knochenmasse verbunden, so daß man die Zahl derselben nur aus der Zahl der Löcher erkennen kann, die sich zwischen den Querfortsätzen der ehemaligen Wirbel befinden. Das Kreuzbein, das Darmbein und das dem Säugethierskelett analoge Sitzbein bilden selbst nur ein einziges, innig verwachsenes Knochenstück, dessen Länge beinahe die Hälfte der Länge des Rumpfes ausmacht. Wir werden in der Folge die Vortheile dieser Steifheit des Rückens des Vogelkörpers für den Flugmechanismus kennen lernen.

§. 10.

Nur die Wirbel des Halses und des Steißes, welcher die Schwanzfedern trägt, sind, und zwar in hohem Grade, beweglich. Der Hals der Vögel ist im Verhältnisse zu jenem der Säugethiere sehr lang, und diese Länge ist im Allgemeinen durch die Steifheit des Rückens selbst und im Besondern durch die Nahrungsverhältnisse des Vogels bedingt. Er hat bei den kurzhalsigen Vögeln (wohin die Raubvögel gehören) beiläufig die Länge des Rumpfes; bei den langhalsigen das Anderthalb- bis Zweifache dieser Länge. Die Zahl seiner Wirbel beträgt bei den ersteren 12 bis

13, bei den letzteren 14 bis 23 (dem Singschwan). Diese Wirbel sind so in einander eingelenkt und durch Muskeln beweglich, daß der Vogel nicht nur den Hals gerade austrecken kann, was beim Fluge der Fall ist, sondern ihn schlangenartig nach allen Richtungen wenden, wie es seinen Nahrungsverhältnissen und dem Bedürfnisse, die verschiedenen Theile seines befiederten Körpers mit dem Schnabel zu erreichen, gemäß ist.

§. 11.

Die Zahl der gleichfalls beweglich an einander eingelenkten Wirbel des Steiſsbeins variirt bei den Fliegern zwischen 6 (dem Geier, dem Storch, der Taube, der Feldlerche) und 8 (dem Adler, Sperber, der Fregatte, der Mauerschwalbe). Diese Zahl steht einigermaßen mit der Länge und Beweglichkeit des Schwanzes im Verhältnisse. Der letzte Wirbel dieses Steiſsbeins oder das E n d s t ü c k desselben hat eine eigenthümliche Gestalt: von beiden Seiten flach zusammengedrückt bildet er einen senkrecht aufwärts stehenden flachen, nach oben und vorn in einer scharfen Kante auslaufenden, nach rückwärts abgeplatteten Knochen, der einer Pflugschar nicht unähnlich ist, und dessen Höhe beim Adler $1\frac{1}{2}$ Zoll beträgt. Dieser Knochen, an dem sich die Hauptmuskeln zur Bewegung des Schwanzes inseriren, liegt in der Mitte der Wurzel des Schwanzes, so daß sich rechts und links von demselben die gleiche Anzahl von Schwanzfedern befindet.

§. 12.

Die Brust des Vogels ist von dem ausgedehnten Brustbeine bedeckt, das die Gestalt eines länglich viereckigen, nach außen gewölbten Schildes hat, an dessen Ränder die Rippen eingelenkt sind. In der Mitte ist es nach der Länge, in der Form eines Schiffkiels, mit einem hohen Kamme versehen, dem Brustbeinkamm, dessen Höhe von hinten nach vorn zunimmt, und vorn, wo er sich am Ende des Brustbeins gerade abschneidet, am

höchsten ist. Dieser Kamm dient wesentlich zur Insertion des grossen Brustmuskels. Bei den hohen Fliegern verläuft dieser Kamm mit dem Brustbeine konkav (in einer hohlen Kehle), bei anderen Vögeln, zumal den Schwimmvögeln, ist er unter einem scharfen Winkel an das Brustbein aufgesetzt. Seine untere Kante ist bogenförmig. An dem oberen vorderen Ende läuft dieser Kamm mit dem Brustbeine in einen etwas zugespitzten Fortsatz aus. Unmittelbar rechts und links von diesem Fortsatze sind die beiden Schlüsselbeine in das Brustbein eingelenkt, dessen vorderer verstärkter Rand zu diesem Behufe mit einer mit Knorpel überzogenen Rinne oder rinnenförmigen Gelenkfläche versehen ist, in welche der zugeschärfte Rand des nach unten verbreiterten Endes des Schlüsselbeins paßt, und in welcher derselbe mittelst einiger Bänder festgehalten wird, so daß mittelst dieser Einlenkung dem Brustbein eine Bewegung auf- und abwärts gestattet ist. Neben und hinter der Einlenkung des Schlüsselbeins am vorderen oberen Winkel des Brustbeins befindet sich eine beiläufig dreieckige Vertiefung, über welche das äussere Eck des Schlüsselbeinrandes etwas hervortritt

Fig. 3. (Fig. 3. b); an diese Vertiefung und an jenen hinteren und unteren Theil des Schlüsselbeins ist der kleinste Brustmuskel (§. 38) inserirt. An der inneren konkaven Fläche des Brustbeins längs des Kammes bemerkt man mehrere kleine Löcher, die in das Knochengewebe oder eigentlich zwischen die Knochen-Duplikatur, aus welcher das Brustbein mit dem Kamme besteht, eindringen und durch welche die Luft aus den Luftsäcken kommuniziert. Bei den Gänsen fehlen diese Öffnungen, dagegen ist gegen das innere vordere Ende des Brustbeins ein ziemlich grosses viereckiges Loch vorhanden, das unmittelbar mit der Höhlung des vorderen Theiles des Brustbeinkamms kommuniziert. Überhaupt ist das Brustbein bei allen Fliegern mehr oder weniger pneumatisch.

§. 13.

Breite, Länge und zum Theil Gestalt des Brustbeins variiren sehr bei verschiedenen Vögeln; doch stehen diese Abänderungen mehr mit ihrer Lebensart als mit der Ausbildung für die Flugfunktion in Verbindung. So haben im Besondern die Schwimmvögel ein bedeutend längeres, am hinteren Theile mit grossen, mit einer Haut überspannten Ausschnitten versehenes Brustbein (Fig. 2. I), Fig. 2. das offenbar die Bestimmung hat, auch den Bauch zu tragen und zu schützen, wohl auch das Schwimmen zu erleichtern. Auch bei den hühnerartigen Vögeln sind diese Ausschnitte sehr gross. Bei den hohen Fliegern fehlen diese Ausschnitte gänzlich, oder gehen nur in grössere oder kleinere runde Öffnungen über, wie bei den Geiern und Falken; letztere fehlen auch ganz, wie bei alten Adlern, während bei jüngeren noch zwei kleine Öffnungen vorhanden sind (Fig. 1). Auch andere gute Flieger, wie der Geier- Fig. 1. adler, die Weihe, der Storch, Albatros, Pelikan, der Sturm- vogel, die Mauerschwalbe etc. haben ein ganzes, das länglich viereckige Schild bildende, Brustbein. Zunächst bezeichnend für die Stärke des Brustmuskels ist die Höhe des Brustkamms, zumal gegen das vordere Ende. Diese Höhe ist daher bedeutend bei Raubvögeln, die ausser ihrem Gewichte noch Lasten zu tragen haben, bedeutend geringer beim Geier; sonst auch ansehnlich bei Vögeln, die in einer steil geneigten Ebene aufwärts steigen, wie die Tauben; auch bei solchen Vögeln, die mit verhältnissmässig kürzeren Flügeln versehen sind, daher einen kräftigeren Flügelschlag nöthig haben, wie bei den Hühnervögeln und Gänsen.

§. 14.

Bei den guten Fliegern so ziemlich an den Extremen liegend, können als Typen für diese Abweichungen in der Konformation des Rumpfes das Skelett des Adlers und der Saatgans angesehen werden, wovon das erstere in der Fig 1 und das zweite Fig. 1.

Fig. 1. in der Fig. 2 dargestellt, und das Brustbein mit dem Brustkamm mit *a* und *a'* bezeichnet ist.

§. 15.

Das Brustbein ist mit den Rückenwirbeln durch die Rippen verbunden, welche, wie die Figuren 1 und 2 zeigen, besonders stark und breit beim Adler, bedeutend schwächer bei der Gans und ähnlichen Vögeln sind. Sie bestehen aus zwei Theilen, den oberen oder eigentlichen Rippen, in Fig. 1 und 2 mit *f* bezeichnet, welche mit ihrem Kopfe in die Rückenwirbel eingelenkt sind, und den unteren oder Brustbeinrippen, mit *g* bezeichnet, welche in den breiten und dicken, mit kleinen Vertiefungen versehenen Seitenrand des Brustbeins eingelenkt sind, und gewöhnlich Rippenanhänge genannt werden. Diese Anhänge setzen sich an das Ende der eigentlichen Rippen unter einem stumpfen Winkel gleichfalls mittelst einer Einlenkung, so daß dieser Winkel, indem die Anhänge sich heben, beliebig vermindert werden kann. Die Rippenanhänge werden von vorn nach hinten immer länger, wie die Figur zeigt. Alle Einlenkungen sind durch Gelenkkapseln und Bänder verbunden. Vermittelst dieser eigenthümlichen Einrichtung kann das an das untere Ende der Schlüsselbeine *b* eingelenkte, und bei *l* mit dem Gabelknochen nur durch ein Band verbundene Brustbein nach Art des unteren Theiles eines Blasebalgs auf und nieder bewegt werden, bei welcher Bewegung dann, da die Auflage oder der Drehungspunkt am vorderen Ende an den Schlüsselbeinen liegt, die Hebung oder Senkung im Verhältnisse der Entfernung von jenem Punkte zunimmt, mit welcher Bewegung auch die Länge der Rippenanhänge im Verhältnisse steht. Durch diese Hebung und Senkung wird die Kapazität der Brusthöhle vermindert oder vermehrt, was zu dem Respirationsmechanismus der Vögel, wie wir späterhin sehen werden, in wesentlicher Beziehung steht.

§. 16.

Die Zahl der Rippen ist bei den Vögeln geringer als bei den Säugthieren; sie variirt gewöhnlich zwischen sieben bis neun, und geht höchstens bis elf (beim Schwan). Von falschen Rippen findet sich gewöhnlich nur ein Paar nach vorn; öfters auch ein Paar nach hinten (Fig. 2). Die Einrichtung der Rippen ist Fig. 1, übrigens bei allen Vögeln dieselbe, und unterscheidet sich nur durch ihre relative Stärke. Diese Stärke wird bedeutend durch die Rippenhaken vermehrt, welche die einzelnen Rippen mit einander verbinden, in Fig 1 und 2 mit *h* bezeichnet. Es sind Fig. 1. dieses besondere Knochenblätter, welche am hinteren Theile einer jeden Rippe entspringen, und sich unter einem Winkel nach oben in Form eines Hakens oder Astes verlängern, der sich über die nächstfolgende Rippe überlegt und mit ihr durch ein Band verbunden ist. Diese Rippenhaken befinden sich gewöhnlich nur an den fünf bis sechs ersten oder vorderen Rippen; sie sind viel stärker bei den Raubvögeln, als bei anderen, z. B. den Schwimm- und Sumpfvögeln. Sie tragen wesentlich dazu bei, dem ganzen Rumpfe, übereinstimmend mit der Steifheit des Rückens, den gehörigen Grad von Steifheit zu verschaffen.

§. 17.

An das vordere Ende des Brustbeins sind, etwas aufwärts und auswärts steigend, die beiden Schlüsselbeine *b* (Fig. 1 und 2) eingelenkt, die mit den beiden Schulterblättern *d* und dem zwischen den Schlüsselbeinen aufgestellten Gabelknochen *c* die Gelenkpfanne *e* für die beiden Flügelarme bilden.

Das Schlüsselbein ist ein starker gerader hohler Knochen, der, wie vorher bemerkt, mit seinem ausgeplatteten unteren Ende in der Rinne des vorderen Randes des Brustbeins liegt. An seinem oberen oder vorderen Ende bildet er einen breiten, in drei Höcker getheilten Kopf, an welche sich die Enden des Schul-

terblattes und des Gabelknochens anlegen, und in dieser Verbindung nicht nur die Gelenkgrube für das Oberarmbein, sondern auch in der Mitte ein Loch bilden, durch welches die Sehne des kleinen oder mittleren Brustmuskels hindurchläuft (§. 40).

§. 18.

Das Schulterblatt liegt als ein platter, etwas säbelförmig gebogener Knochen auf den Rippen, parallel der Wirbelsäule, und ist hier durch eigene Muskeln befestigt. Am vorderen Ende, an dem es sich mit dem Schlüsselbeine zur Bildung der Gelenkgrube mittelst einiger Bänder verbindet, wird es dicker. Seine Länge und Stärke variirt bei verschiedenen Vögeln; am breitesten und stärksten ist es bei den Raubvögeln.

§. 19.

Der Gabelknochen bildet einen elliptisch oder parabolisch geformten elastischen Knochen, dessen Spitze vor der vorderen Kante des Brustbeinkamms liegt, von wo seine beiden gabelförmigen Äste zu dem vorderen Ende der beiden Schlüsselbeine emporsteigen, und sich hier mit ihren rückwärts gebogenen Enden mit den entsprechenden Fortsätzen des Schlüsselbeins und des Schulterblattes vereinigen und durch eigene Bänder befestigt sind. In der Regel ist die Spitze des Gabelknochens vom Brustbeinkamm etwas entfernt, und mit demselben durch ein starkes Band verbunden; eine Einrichtung, die nothwendig ist, wenn, wie vorher erwähnt, das an die Schlüsselbeine eingelenkte Brustbein sich heben oder senken soll, dabei die feste Lage des Schulterblattes vorausgesetzt. Bei einigen Fliegern, wie bei dem Kranich und Pelikan, ist die Spitze des Gabelknochens mit dem Brustbeinkamm zu einem Stücke verwachsen; aber dann ist dieses auch mit dem unteren Schlüsselbeinrande der Fall, dagegen ist das Schulterblatt verhältnißmässig nur kurz und schwach, und gestattet leicht eine geringe Bewegung nach vorwärts oder rückwärts.

Hier liegt also der Drehungspunkt für die vertikale Bewegung des Brustbeins im Schulterblatte, das durch eine geringe Bewegung nach vorwärts oder rückwärts die Hebung oder Senkung des Brustbeins möglich macht, weil dieses dann mit dem Schulterblatt, dem Gabelknochen und dem Schlüsselbeine nur ein Stück bildet.

Der Gabelknochen ist ein wesentliches Stück zur Verstärkung des Gerüsts für die Einlenkung des Flügelarms. Außerdem daß sich an ihm verschiedene Muskel inseriren und er mittelst seiner Enden die Gelenkpfanne verstärken hilft, dient er vorzüglich, die beiden Schlüsselbeine, gegen deren obere Endfläche ein starker Druck beim Niederschlage des Flügels nach vorn und nach innen wirkt, zu unterstützen und ihrer Einbiegung nach innen zu widerstehen. Bei den Raubvögeln und anderen hohen Fliegern (den Geiern, Weihen, Bussarden) ist er daher besonders stark und breit, nicht nur am untern Theile, sondern auch an seinen Enden. Bei diesen Vögeln nähert sich seine Form mehr einem Halbkreise, bei anderen, wie bei den Gänsen, ist sie mehr elliptisch, bei den hühnerartigen Vögeln, bei denen dieser Knochen überhaupt schwächer ist, läuft sie nach unten spitzig zu, in der Gestalt eines V.

§. 20.

Die Art und Weise, wie die Enden dieser drei Knochen sich vereinigen, um nicht nur die Gelenkgrube, sondern auch die von ihnen umschlossene Öffnung für die Muskelsehne zu bilden, ist keiner Beschreibung fähig, kann jedoch aus der Fig. 3 nach dem Skelett des Adlers entnommen werden.

a ist der vordere Theil des Brustbeinkamms und des Brustbeins; *b* die Vertiefung hinter dem Schlüsselbeine, in welcher der kleinste Brustmuskel zum Theil befestigt ist (§. 12); *c, c* die beiden Schlüsselbeine; *d, d* die rinnenförmige Gelenkfläche für die Schlüsselbeine; *e, e* der Gabelknochen; *f, f* die Schulterblätter; *g* das Band, mit dem die Spitze des Gabelknochens mit der Spitze

des Brustbeins verbunden ist; bei *h* ist das durch die Verbindung der drei Knochen gebildete Loch, durch welches der mittlere oder kleine Brustmuskel spielt; *i* die Gelenkgrube für den rechten Flügel.

Die Lage und Richtung der mit Knorpel überzogenen Gelenkgrube, in welcher die länglich abgerundete Gelenkfläche des Oberarmbeinkopfes spielt, macht nach rückwärts mit der Axe des Vogelkörpers einen Winkel von beiläufig 60° .

Der senkrechte Querschnitt des Rumpfes, welcher durch die bisher beschriebenen Knochen gebildet wird, ist nicht ganz kreisförmig, sondern bildet in der Mitte der Brust eine Ellipse, deren große Axe zur kleinen sich beiläufig wie 3 zu 2 verhält.

B. Der Flügelarm.

Der Knochenbau des Flügelarmes ist jenem des menschlichen Armes analog, und besteht aus dem Oberarm, dem Vorderarm und der Hand.

§. 21.

Das Oberarmbein ist ein starker hohler (pneumatischer), an seinem inneren oder Schulterende mit einem starken, in mehrere Höcker auslaufenden Kopfe versehener Knochen. Die Höcker und Vorsprünge dieses Kopfes, an welchem sich die Gelenkfläche befindet, sind die Insertionsstellen der Muskeln, welche die Bewegung des Oberarms beherrschen. Dieser Oberarmbein-

Fig. 4
und 5.

kopf ist in der Fig. 4 von oben und in Fig. 5 von unten abgebildet. In der Fig. 4 bezeichnet 2, 2 die Insertionsfläche des großen Deltamuskels (§. 36); 8, 8 jene des breiten Rückenmuskels (§. 42); 3 die Insertionsstelle des kleinsten Brustmuskels (§. 37); 4 jene des Schulterblattmuskels (§. 38); 6 die Insertion des kleinen Brustmuskels (§. 40); 7 die Insertion des Schulterarmmuskels (§. 41); *b* ist eine Vertiefung, an deren Ende sich das Luftloch befindet, das mit dem Inneren des hohlen Knochens kommuniziert; *c* ist die läng-

lich abgerundete Gelenkfläche, von beinahe eiförmiger Gestalt, in der Mitte am breitesten, nach oben und unten sich verjüngend, so daß die größte Breite nahe die Hälfte ihrer Länge ist. In der Fig. 5 Fig. 5. bezeichnet 1, 1, 1 die Insertion des großen Brustmuskels (§. 35), an der unter einem stumpfen Winkel vorspringenden Knochenfläche oder Knochen-Duplikatur *mn*; der Theil *b*, mit welchem sich das äußere Ende dieses Vorsprungs oder dieser Leiste an den Knochen anschließt, ist durch eine dickere Knochenmasse verstärkt. 5 bezeichnet die Insertionsstelle des kleinen deltaförmigen Muskels (§. 39). Der Oberarmbeinkopf ist mit der Gelenkfläche etwas rückwärts gebogen; die Kante *m* des Vorsprungs, an welchem der große Brustmuskel inserirt, liegt nämlich nahe in der Richtung der Axe des Oberarmknochens, und die Kante *n* liegt in der Ebene, welche die Gelenkfläche ihrer Länge nach durchschneidet; der Winkel dieser Ebene oder der Kante *n* mit der Axe des Knochens beträgt 30°. Bei der beinahe scheibenförmigen Form der Gelenkfläche und der damit übereinstimmenden Form ihrer Gelenkgrube kann sich daher der Oberarm abwärts nur in der Richtung dieser Gelenkgrube bewegen, wobei jedoch eine kleine Drehung nach vor- oder rückwärts wegen der nach aussen sich erweiternden Gelenkgrube möglich ist.

§. 22.

Der Oberarmbeinkopf oder eigentlich seine länglich abgerundete Gelenkfläche ist außer dem Kapselband oder der Gelenkkapsel durch mehrere starke Bänder mit dem Schlüsselbein und Schulterblatt verbunden, die dieselbe in der Gelenkgrube oder Gelenkpfanne festhalten. Zu dieser Sicherung der Einlenkung dient noch das Schulterkapselbein, ein kleines, mit der unteren etwas konkaven überknorpelten Fläche auf dem oberen Theile des Gelenkes des Oberarmbeinkopfes ruhendes pyramidales Beinchen, das von der Gelenkkapsel umschlossen, noch mit zwei Bändern

festgehalten ist, und eigentlich eine bewegliche Fortsetzung der Gelenkpfanne darstellt. Es ist mit dem grossen Deltamuskel verbunden.

§. 23.

Das äussere Ende des Oberarmbeines hat einen geringeren Umfang als das Schulterende, ist etwas nach vorn gebogen und dient zur Einlenkung der Speiche und Elle des Vorderarmbeins. Die Vertiefung, in welcher der gespitzt auslaufende Fortsatz der Elle des Vorderarmbeins und die an demselben befestigte Sehne des langen Vorderarmstreckers spielt, ist von unten mit einem grossen rundlichen Knorren, an dessen Seite sich der erwähnte Fortsatz anlegt, von der oberen Seite mit einem kleineren Knorren begrenzt, in welchem sich eine kleine Vertiefung befindet, in welcher die Sehne des kurzen Vorderarmstreckers spielt. An der vorderen Seite, nach vorn und unten, liegt der grössere kugelförmige Gelenkknopf, an welchem die Elle, und neben und über demselben der kleinere, etwas mehr in die Länge gezogene, an welchem die Speiche des Vorderarmes artikulirt. Vermöge dieser Einlenkungsart bewegt sich der Oberarm mit dem Vorderarm, sowohl beim Strecken als dem Einziehen, in derselben Ebene.

§. 24.

Der Vorderarm besteht aus der Elle und der Speiche. Beim gestreckten Flügel liegt die letztere nach vorn, die erstere nach hinten. Die Elle ist ein starker (markvoller) Knochen, dem mittleren Theile des Oberarmbeins in der Dicke jedoch nachstehend; die Speiche ist sehr dünn. Auf der Elle sind die Flügelfedern des Fächers aufgelegt, welche deshalb oben etwas abgeplattet ist. Mit einer rundlichen Gelenkfläche paßt sie, wie gesagt, auf ihren Gelenkknopf des Oberarmbeins, so wie die Speiche mit einer ähnlichen rundlichen Gelenkvertiefung auf ihrem Gelenkknopf artikulirt. Seitwärts gegen die Elle hat sie eine konvexe Gelenk-

fläche, die in eine Vertiefung des Endes der Elle paßt, wodurch die Enden beider mit einander verbunden sind.

Die Speiche hat daher weder eine merkliche Vorwärts- noch Rückwärtswendung, kann daher auch die Mittelhand weder proniren noch supiniren, wie beim menschlichen Arme, dagegen hat sie vermöge der höheren und gegen die Einlenkung der Elle exzentrischen Lage ihres Gelenkknopfes am Oberarme, bei der Bewegung des letzteren, eine geringe Verschiebung nach der Länge, parallel mit der Elle, welche mit der Wirkungsart einiger Muskeln in Verbindung steht, wie sich in der Folge näher ergeben wird (§. 112). Speiche und Elle sind mit dem Oberarm durch mehrere Bänder verbunden, durch welche die Bewegung beider Arme vor- und rückwärts, so wie die Verbindung der beiden Knochen gesichert wird. Der Vortheil der Speiche am Flügelarme besteht, außer der Insertion von Muskeln und der Verstärkung der Elle gegen Biegung, hauptsächlich in der breiteren Basis, welche dadurch der Vorderarm mittelst der Handwurzelknochen zum Behufe der Festhaltung und Bewegung der Mittelhand erhält.

§. 25.

Das äußere oder an der Mittelhand liegende Ende der Speiche ist plattgedrückt und bildet eine konvexe Gelenkfläche; das Ende der Elle ist mit einer rollenförmigen Gelenkfläche versehen. An diesen Enden artikuliren Speiche und Elle des Vorderarms mittelst zweier Handwurzelknochen mit dem Knochen der Mittelhand, von denen der eine mit dem Ende der Speiche (Speichenhandwurzelknochen), der andere mit dem Ende der Elle (Ellenhandwurzelknochen) artikulirt. Der Speichenhandwurzelknochen liegt zwischen dem Ende der Speiche und der Elle, und verbindet das Ende der Speiche mit dem der Elle, indem er zugleich mit dem letzteren die vertiefte Gelenkpfanne bildet, in welcher der Mittelhandknochen sich bewegt. Er liegt nämlich mit einer ver-

tieften überknorpelten Gelenkgrube an der Gelenkfläche des Speichenendes, und mit der entgegengesetzten konkaven überknorpelten Gelenkfläche legt er sich an die Gelenkfläche der Elle, ihren vorderen Rand bildend, zur Einlenkung des Mittelhandknochens. An dem vorderen Ende der Speiche, oder eigentlich an dem vorderen Knorren ihrer Gelenkfläche sitzt mittelst eines Bandes ein kleiner pyramidaler Knochen, der gewissermaßen eine Fortsetzung dieses Speichenendes bildet und an welchen sich der vordere Vorsprung des Mittelhandknochens bei seiner Streckung anlegt. Er wirkt als Hinderniß gegen die Bewegung des Mittelhandknochens nach vorn, über eine Grenze, welche durch die Lage dieses Knochens in einer geraden Linie mit der Mittelhand gegeben ist; überdem gibt er, wenn sich die Speiche in der Richtung ihrer Länge nach außen verschiebt (§. 24), dem Mittelhandknochen einen Druck oder eine Beugung nach rückwärts.

§. 26.

Der Ellenhandwurzelknochen liegt hinter dem vorigen am hinteren Ende des Mittelhandknochens und artikulirt mit seiner inneren Gelenkfläche auf der Gelenkfläche der Elle; gegen den Mittelhandknochen verlängert er sich in einen starken hackenförmigen Fortsatz, der sich in eine entsprechende Vertiefung des hinteren Endes des Mittelhandknochens einlegt. Die Gelenkfläche des Mittelhandknochens ist schräg rollenförmig und ihre beiden Ränder verlängern sich nach außen, zwei keilförmige Erhabenheiten bildend, zwischen und auf denen der Handwurzelknochen mit seiner durch den Haken und den an der Elle liegenden Rand gebildeten Vertiefung und Erhöhung artikulirt. Durch diese Führung wird der Bewegung des Mittelhandknochens auf dem Handwurzelknochen eine bestimmte, der schrägen Gelenkfläche des Mittelhandknochens entsprechende Richtung gegeben, so daß er bei der Streckung sich von vorn nach abwärts dreht oder pronirt,

nämlich seine Ausstreckseite mehr nach unten gewendet wird, während er bei der Beugung sich nach aufwärts und rückwärts dreht oder supinirt, nämlich seine Ausstreckseite nach oben gewendet wird.

Vermöge dieser ganzen Einlenkung des Mittelhandknochens mit dem Vorderarm, die sich durch keine Zeichnung deutlich machen läßt, übrigens leicht an dem Skelett eines jeden größeren Vogels erkannt werden kann, hat nun auch die Ebene der Mittelhand und ihres Fingers bei der Streckung nur dann eine horizontale Lage, wenn der Ellenbogen oder der Vorderarm mit dem Oberarm in die Höhe gehoben ist, so daß die Ebene des zwischen dem Oberarm und Vorderarm gebildeten Dreiecks mit der Horizontalebene einen Winkel macht. Dieser Winkel beträgt in der Regel 60° .

Eine bedeutende Zahl starker Bänder verbindet die Handwurzelknochen sowohl mit der Speiche und Elle des Vorderarms, als mit dem Mittelhandknochen, und sichert die Bewegungen des letzteren.

§. 27.

Der Mittelhandknochen ist mit seinen Fingern in der Fig. 6. abgebildet (nach dem Skelett des Seeadlers). Er besteht Fig. 6. gleichfalls aus zwei Knochen, von denen der vordere stärkere der Speiche, der hintere schwächere der Elle entspricht; beide sind jedoch an beiden Enden zu einem Knochenstück vereinigt. Der Speichenast ist mehr zylindrisch, an der vorderen Seite abgeplattet; der Ellenast ist plattgedrückt, so daß seine Breite vom Handwurzelende gegen das Fingerende abnimmt, und er an letzterem nur einen dünnen runden Knochen bildet, der sich in einem Bogen mit dem Ende des Speichenastes verbindet. Am Handwurzelende des Knochens sind *aa* die beiden Verlängerungen der Ränder der Gelenkfläche, die mit dem Ellenhandwurzelknochen artikuliren; nach vorn läuft dieses Ende in einen starken flachgedrückten Knochenfortsatz oder Höcker *b* aus, dem Daumenhöcker,

welcher da, wo er sich an dem Speichenast anschliesst, mit einer Gelenkfläche versehen ist, an welcher der, mit einem Bande befestigte, Daumenknochen *c* in der Art artikulirt, dass er sich nach vorn oder nach hinten bewegt. An diesem pyramidal gestalteten Knochen, der an der oberen und vorderen Seite zur Aufnahme von Federn etwas ausgehöhlt ist, sind die Federn des Lenkfittigs befestigt. Bei mehreren Vögeln, wie der Mauer-
schwalbe, bei den meisten Sumpf- und Schwimmvögeln und hühnerartigen Vögeln, ist das Ende des Daumenknochens mit einem Nagelgliede versehen, das meistens eine stachelige Spitze bildet, die z. B. beim Schwan eine Länge von 5''' hat. Bei den Geiern, Adlern, Falken ist ein solches Nagelglied nicht vorhanden, oder zeigt sich hie und da nur als Rudiment oder feine Spitze.

§. 28.

An dem Fingerende ist das Endstück des Speichenastes der Mittelhand mit einer, nach oben etwas konvexen, Gelenkfläche abgeplattet, auf welcher der Knochen des grossen Fingers mittelst einiger Bänder mit einer konkaven Gelenkfläche aufsitzt. Dieser grosse Finger besteht aus zwei Gliedern *d*, *e*. Das erste Glied hat eine dem Mittelhandknochen analoge Form, nur sind die beiden Knochen, welche als Speiche und Elle angesehen werden können, durch eine Knochenfläche verbunden. Der Speichenast, welcher auf dem Mittelhandknochen artikulirt, ist ein starker, vorn abgeplatteter, durch einige Bänder an den Mittelhandknochen befestigter Knochen; der Ellenast, mehr von der unteren Seite erkennbar, ist dünn und begrenzt nach hinten die erwähnte Knochenfläche, indem er sich unter einem schiefen Winkel mit der Basis des Speichenknochens verbindet. Auf dieser Knochenfläche des ersten Fingergliedes läuft unter einem schiefen Winkel nach auswärts eine erhöhte Rippe, durch welche zwei schief nach aussen gehende Vertiefungen gebildet werden, in welchen die beiden auf

diesem Knochen des ersten Fingergliedes liegenden Schwungfedern so eingelegt sind, daß sie diese Vertiefungen diagonal durchkreuzen, folglich sich innerhalb derselben etwas nach ein- oder auswärts verschieben können.

Auf der äußeren Endfläche des ersten Fingergliedes artikulirt der Knochen des zweiten Fingergliedes mittelst Gelenkflächen, die seine Bewegung etwas nach unten und nach vor- und rückwärts gestatten. Dieser Knochen ist nach hinten seiner Länge nach mit einer Vertiefung oder Aushöhlung versehen, in welcher die erste Schwungfeder oder die Lenkfeder befestigt ist.

§. 29.

Auf dem Ende des Ellenastes des Mittelhandknochens, nahe seiner Vereinigung mit dem Ende des Speichenastes, sitzt mittelst eines Bandes der kleine Finger *g*, von dreieckiger Form, dessen vordere Seite mittelst eines Bandes an die hintere Seite des Ellenastes des ersten Gliedes des großen Fingers befestigt ist. Gegen die Mittelhand zu bildet dieser Theil des kleinen Fingers einen Vorsprung oder kleinen Höcker, an welchen sich eine Sehne setzt. Auf diesen kleinen Finger, der oben etwas ausgehöhlt ist, ist die vierte Schwungfeder aufgelegt. Vermöge dieser beweglichen Verbindung des kleinen Fingers mit dem ersten Gliede des großen Fingers bewegt sich das letztere nach hinten, wenn der kleine Finger sich nach hinten bewegt, und in der Bewegung des großen Fingers nach vorn wird er ebenfalls nach vorn gezogen. Diese Verbindungsart des kleinen Fingers mit dem großen dient ferner (und dieß ist hier der Hauptzweck) als ein zweiter Einlenkungspunkt für das erste Glied des großen Fingers, wodurch eine starke Pronirung und Supinirung des letzteren möglich wird, indem diese Einlenkung an dem kleinen Finger ihre Lage behält, während sich der Knochen des großen Fingers auf der Gelenkfläche des Mittelhandknochens nach oben und unten bewegt.

§. 30.

Die Länge des Oberarmknochens im Verhältnisse zur Länge des Körpers, so wie die Länge der übrigen Flügelknochen im Verhältnisse zu jener des Oberarms ist bei verschiedenen Vögeln ziemlich verschieden. Rechnet man die Länge des Rumpfes von der Gelenkgrube des Oberarmes bis zum Anfang der Schwanzwirbel, so beträgt z. B. beim Geieradler, dem Gold- und Steinadler die Länge des Oberarms $\frac{5}{6}$ dieser Länge, beim Seeadler $\frac{12}{13}$, beim Pelikan sind beide Längen gleich, beim Albatros und der Fregatte geht sie noch darüber hinaus; bei der Saatgans beträgt sie $\frac{3}{4}$ und beiläufig eben so viel bei den hühnerartigen Vögeln. Eine merkwürdige Abweichung bildet der kurze Oberarm der Mauerschwalbe, der nur aus beiden, ohne merkliche Zwischenröhre verbundenen Gelenkköpfen besteht.

§. 31.

Das Längenverhältniß der Armknochen unter einander ist eben so verschieden. Setzt man die Länge des Oberarms = 100, so ist die Länge des Vorderarms beim Geier = 124, bei den Krähen (dem Kolkraben, der Raben-, Saat und Nebelkrähe) = 120; beim Goldadler, Steinadler, dem grauen Reiher, dem Geieradler, Seeadler, Wanderfalk, Thurmalk etc. = 115; dem Taubenhabicht = 110; dem Pelikan = 108; der Gans = 100. Auch bei den hühnerartigen Vögeln sind beide Knochen gleich. Bei der Mauerschwalbe beträgt die Länge des Vorderarms das Doppelte jener des Oberarms.

Das Verhältniß der Länge des Mittelhandknochens ist ebenfalls, jedoch in geringerem Grade, verschieden. Beiläufig beträgt seine Länge die Hälfte der Länge des Oberarms. Bei der Mauerschwalbe ist dessen Länge jener des Vorderarms gleich. Auch das Verhältniß der Länge des ersten Fingergliedes variirt, so wie jener des zweiten Gliedes, desgleichen der Länge des Daumenknochens.

Diese Verhältnisse hängen von der Beschaffenheit des Flügels ab, wie wir in der Folge sehen werden.

§. 32.

Der Winkel, welchen der Oberarm mit dem Vorderarm bei der vollen Streckung macht, beträgt beiläufig 130° . Die Ebene des Dreiecks, von welchem unter diesem Winkel Oberarm und Vorderarm die beiden Seiten bilden, macht mit der Horizontalebene (vorausgesetzt, daß die Axe des Vogels in der Horizontalebene liege) einen Winkel (§. 26), welcher dem Winkel gleich ist, welchen die Gelenkgrube des Oberarms (§. 20) oder ihre Mittellinie mit der Axe des Vogels macht. Diese beiden Winkel sind also von einander abhängig, und bedingen, bei der Einlenkungsart des Vorderarmes mit der Mittelhand (§. 25, 26), eine auf die Ebene, welche durch die Längenaxe des Vogelkörpers und die Fläche der Mittelhand gelegt ist, normale Niederbewegung dieses Knochensystems. Die Art der Einlenkung der Armknochen unter einander und des Oberarms mit der Gelenkgrube des Rumpfes beschränkt also die Bewegungen dieser Knochen wesentlich auf die eigentlichen Flugbewegungen.

II.

Die Muskeln und ihre Funktionen.

§. 33.

Die Ähnlichkeit des Knochenbaues des Flügels mit jenem des menschlichen Armes setzt sich auch in der Anordnung der Muskeln fort, mittelst deren die Flügelknochen ihre Bewegungen erhalten. Nur sind diese Bewegungen einfacher, weil mehr und beinahe ausschließlich auf die bestimmten Flugbewegungen gerichtet, und da die Funktionen aller Muskeln nur hauptsächlich auf diese bestimmten Bewegungen hinwirken, so modifiziren sie sich auch mehr und weniger nach diesem Zwecke, zum Theil von ihren

analogen Funktionen im menschlichen Arme wesentlich verschieden. Ausser *Vicq-d'Azyr*, *Cuvier*, *Wiedemann*, *Meckel* u. A. sind die Muskeln der Vögel rücksichtlich ihrer Lage mit einigen Ausnahmen am vollständigsten von *Tiedemann* in seiner *Zoologie* II. Band (Anatomie und Naturgeschichte der Vögel) beschrieben. Aber nirgends findet man für diejenigen Muskeln, deren Wirkung in nächster Beziehung zum Flugmechanismus steht, eine genügende Angabe ihrer Funktionen ¹⁾. Ohne die vorläufige richtige Erkenntnis des Flugmechanismus selbst ist diese auch nicht möglich. Diese Erkenntnis selbst ist aber wieder nur das Resultat zahlreicher auf diesen Zweck gerichteter Beobachtungen und deren Vergleichung mit der anatomischen Struktur des Flügels, so daß sich dann die eine Untersuchung aus der anderen ergänzt und bestätigt. Hauptsächlich aus diesem Gesichtspunkte sind die zahlreichen Zergliederungen vorgenommen worden, die der Verfasser insbesondere mit großen Fliegern, Adlern und Bussarden, angestellt hat. Denn es muß bemerkt werden, daß für die richtige Erkenntnis der Funktionen der Flugmuskeln nur solche Vögel taugen, die zu den ersten Fliegern gehören und den größten Theil ihres Lebens in den Lüften zubringen. Nur bei diesen finden sich die Flugorgane in vollständiger Ausbildung, weil sie in beständiger Thätigkeit erhalten werden. Auf diese beziehen sich daher auch zunächst die nachfolgenden Bestimmungen.

Die Muskeln der Vögel sind im Allgemeinen feinfaseriger und dichter, um so mehr, je bessere Flieger sie sind. Am dichtesten zeigt sich diese Textur bei den Muskeln an den Flügelarmen, zumal bei den Raubvögeln. Bei den schwächeren Fliegern neh-

¹⁾ Wer sich überzeugen will, wie viel Unsicherheit und Verwirrung in Beziehung auf diesen Gegenstand herrscht, braucht nur den hieher bezüglichen Theil des Abschnitts über die Muskeln der Vögel in *Meckel's vergleichender Anatomie*, III. Band S. 310, nachzulesen.

men sie verhältnißmäfsig an Masse zu und an Dichtigkeit ab, und nähern sich in ihrer Beschaffenheit jener der Säugethiere.

§. 34.

Die Muskeln, welche beim Fluggeschäfte des Vogels wirksam sind, sind

1) diejenigen, welche mittelst der Armknochen die Bewegungen des Flügels beherrschen; diese wirken

- a. zur Bewegung des Oberarms,
- b. zur Bewegung des Vorderarms,
- c. zur Bewegung der Mittelhand und der Finger;

2) die Muskeln, welche zur Bildung der inneren Flügeldecke dienen;

3) jene, welche am Rumpfe zum Fluggeschäfte mitwirken.

A. Muskeln zur Bewegung des Oberarms.

Zur Bewegung des Oberarms dienen 8 Muskeln, die mit dem einen Ende an dem Rumpfe des Vogelkörpers befestigt sind, und mit dem andern sich an verschiedenen Stellen des Oberarmbeinkopfes inseriren (Fig. 5, 6).

§. 35.

Der grofse Brustmuskel (der Niederzieher des Oberarms). Er bedeckt die ganze Fläche des Brustbeins. Mit seinem hintersten Ende ist er am hinteren Rande des Brustbeins, auch am Rande des Seitenfortsatzes (wenn ein solcher vorhanden), mit dem mittleren Theile am Brustbeinkamm seiner ganzen Länge nach, und mit dem vorderen Theile an der ganzen hinteren Fläche des Gabelknochens fleischig befestigt. Mit seiner fleischig-sehnigen Endfläche inserirt er sich an die untere Fläche der vorspringenden Leiste des Oberarmbeinkopfes Fig. 5 (1). Unweit davon Fig. 5. nach unten, setzt er sich noch mit einer kurzen sehnigen Portion in der Nähe des unteren Höckers des Oberarmbeinkopfes fest, Fig. 5. a.

Dieser Muskel bewegt den Oberarm nach unten und bewirkt den Niederschlag des Flügels. Da die Hauptportion desselben vermöge ihres Angriffes an der Leiste den Oberarm oder den Flügel nach vorn zu drehen strebt, so wirkt die zweite Anheftung am untern Theile des Kopfes dieser Tendenz entgegen, indem dadurch der ganze Muskel mehr in der Richtung des Niederschlags wirkt.

Dieser Muskel ist der größte und stärkste des Vogelkörpers, jedoch in seiner Struktur weniger dicht und sehnig als die Armmuskeln. Es scheint, daß die Natur wenigstens bei mehreren Vögeln das Gewicht dieses Muskels mehr, als vielleicht nöthig, vergrößert hat, um den Schwerpunkt des Körpers mehr nach unten und gegen die Brust zu bringen. Auch steht seine Größe in Beziehung zu der Ausdauer, deren mehrere Vögel im Fluge bei gleichmäßigem Flügelschlage fähig sind (§. 239). Sein Gewicht beträgt bei den Raubvögeln beiläufig $\frac{1}{14}$ (oder von beiden zusammen $\frac{1}{7}$) des ganzen Gewichtes. Bei den Vögeln, deren Fleisch zur menschlichen Nahrung taugt, im Besondern den Schwimm- und hühnerartigen Vögeln, ist dieser Muskel bedeutend größer (bei der Saatgans beträgt er $\frac{1}{11}$ des ganzen Gewichtes), indem zugleich seine Textur weniger dicht und stark ist, als bei den fleischfressenden Vögeln. Die größte Masse des Brustmuskels drängt sich nach vorn an dem vorderen Theile des Brustbeins zusammen, dessen Kamm auch hier am höchsten ist: diese Lage der Brustmuskeln bringt also den Schwerpunkt des Vogels mehr nach vorn und unten.

Die Insertion des Brustmuskels an der Leiste des Oberarms geschieht mit einer bedeutenden Fläche, die beiläufig ein verschobenes Parallelogramm darstellt, dessen zwei Seiten durch den vorspringenden Winkel der Leiste gebildet werden. Der Muskel selbst besteht eigentlich aus drei zum Theil durch eine sehnige Fläche getrennten Portionen, deren Fasern in verschiedener Richtung ge-

gen die Insertionsfläche des Oberarms laufen. Die erste ist an dem hinteren Theile der Brustbeinfläche, das runde oder ovale mit der Sehnenhaut überzogene Loch bedeckend, angewachsen, und ihre Fasern gehen gerade in der Richtung nach dem von dem Umdrehungspunkte entfernteren Ende der Leiste des Oberarms *b*, Fig. 5, Fig. 5. wo sie sich schräg in Verbindung mit der anderen Portion vereinigen. Diese Portion bedeckt die Rippenanhänge; sie hat, als die längste, auch die stärkste Kontraktion zu bewirken. Die andere Portion ist an dem Brustbeinkamme und seiner Kante, zu etwa $\frac{1}{3}$ seiner Höhe, nach seiner ganzen Länge befestigt; sie bildet die größte Masse, und ihre Fasern laufen schräg aufwärts an die Insertionsfläche neben der ersten Portion. Die dritte Portion kommt von der Vereinigung des Brustbeinkammes mit dem Gabelknochen und von diesem selbst, und bedeckt den vorderen Theil der vorigen Portion; ihre Fasern laufen beinahe senkrecht aufwärts an die Insertionsfläche nach innen zu. Bei vielen Fliegern (Falken) bilden diese Portionen eine einzige Masse und sind nur schwer trennbar; bei anderen (wie den Schwimmvögeln) leichter; bei der Fledermaus sind sie als einzelne Muskeln sichtbar. Bei dieser Disposition zieht die erste Portion den Oberarm nach unten und rückwärts; die zweite wirkt beinahe genau in der Linie des Niederschlags oder der Bewegung des Oberarms nach unten; die dritte zieht mehr senkrecht und wirkt zum Theil antagonistisch gegen die erste zur Bestimmung der Bewegung nach unten in Verbindung mit der zweiten.

§. 36.

Der große deltaförmige Muskel (der Heber des Oberarms) hat eine nahe dreieckige Form, und kommt von der oberen Fläche des vorderen Endes des Schulterblatts und vom oberen Ende des Gabelbeins, und ist mit seiner der Schulter nahe liegenden Portion mit dem Schulterkapselbein (§. 22) ver-

bunden. Er verbreitert sich im Absteigen gegen die obere Fläche der vorspringenden Leiste des Oberarmbeins, an welcher er sich ihrer ganzen Länge und Breite nach bis in das Oberarmbein hinaus, Fig. 4 folglich mit einer bedeutend grossen Fläche, festsetzt. Fig. 4 (2, 2).

Dieser Muskel ist vermöge seiner der Wirkung des Brustmuskels entgegengesetzten Lage und des langen Hebelarmes, an dem er wirkt, der Antagonist des Brustmuskels, indem er nicht nur die Grösse des Niederschlages begrenzt, sondern auch das Oberarmbein und somit den Flügel in der gehörigen Lage gegen die Horizontalebene während eines Niederschlages erhält, indem er dem Propiniren des Brustmuskels supinirend entgegenwirkt, und vermöge des Schulterkapselbeins die Bewegung des Oberarmgelenks in der Gelenkkapsel regulirt. Er wirkt auch antagonistisch gegen den breiten Rückenmuskel (§. 42).

§. 37.

Der kleinste Brustmuskel ¹⁾, der seiner Funktion nach als Rückwärtsender des Oberarms zu bezeichnen ist, ein zwar kleiner, aber kompakt sehniger Muskel; er ist fast pyramidenförmig und entspringt von der Vertiefung des Brustbeins hinter dem Schlüsselbein (§. 12) und an der hinteren unteren Fläche des Schlüsselbeins; steigt schief aufwärts und setzt sich mit einer kurzen starken Sehne an den unteren nach hinten vorspringenden Höcker des Oberarmbeins (Fig. 4. 3) fest, folglich sehr nahe am Umdrehungspunkte. Dieser Muskel kann nach Verhältniss seiner Länge nur wirken, wenn der Oberarm vom Leibe absteht oder zum Niederschlage ausgebreitet ist; er dreht dann den Oberarm von vorn nach hinten oder supinirt vermöge des Hebels des unteren Höckers, an dem er sitzt; er wirkt also beim Niederschlage mit dem Brust- und Deltamuskel für den Zweck der gehörigen

¹⁾ Le petit pectoral de Cuvier.

Richtung des Oberarms zusammen, diese Richtung genau regulirend, damit die Flügelfläche in dem bestimmten Winkel zur Horizontalebene und zur Vertikalebene sich abwärts bewege. Dafs dieser Muskel verhältnismäfsig klein ist zu den Muskeln, mit denen er in Wirkung steht, ist hier von keiner Bedeutung, denn schon *Vicq-d'Azyr* (der Einzige, der über die Bestimmung dieses Muskels eine richtige Ahnung hatte) bemerkt von demselben, dafs er, dem Mittelpunkte der Bewegung so nahe gelegen, eben darum geeignet sey, die Wirkung von gröfseren und stärkeren Muskeln zu dirigiren, deren Insertion weiter entfernt ist¹⁾.

§. 38.

Der Schulterblattmuskel (der Einzieher des Oberarms²⁾) kommt, vom breiten Rückenmuskel bedeckt, als ein breiter, starker, fast dreieckiger Muskel vom hinteren unteren Rande des Schulterblatts und setzt sich mit einer starken Sehne an den untersten Theil der hinteren Fläche des Oberarmbeinkopfes, nämlich an die Mitte des etwas bogenförmigen Wulstes, der das Luftloch umgibt. Fig. 4 (4). Dieser Muskel zieht den Oberarm Fig. 4 nach der Beendigung des Niederschlages zurück an den Leib; wirkt auch antagonistisch mit dem nachfolgenden.

§. 39.

Der kleine deltaförmige Muskel (der Vorwärtszieher des Oberarms³⁾), entspringt vom vorderen Ende des Schlüsselbeins, ist hier sehnig mit dem langen Kopfe des zweiköpfigen Armmuskels verbunden, läuft über das Schultergelenk und inserirt sich an die unter dem Theile der vorspringenden Leiste, welcher der Schulter näher liegt, liegende

¹⁾ Mémoires de l'Acad. roy. des sciences, 1772. 2^e partie. p. 625.

²⁾ Le muscle sussesapulaire de *Vicq-d'Azyr*, der Oberschulterblattmuskel, von *Tiedemann*.

³⁾ Le petit releveur de l'humerus de *Vicq-d'Azyr*.

Fläche des Oberarmkopfes in einer Linie mit der unteren Anheftung des Brustmuskels, welcher daher seine Insertion bedeckt.

Fig. 5. Fig. 5 (5). Dieser Muskel zieht den an den Leib gelegten Oberarm in die Lage nach vorn, in welcher ihn der Brustmuskel zu ergreifen hat. Außerdem wirkt er als Antagonist des Schulterblattmuskels, um die Anziehung des Oberarms an den Leib zu begrenzen, so daß durch die Wirkung dieser beiden Muskeln der Oberarm in einem bestimmten Winkel gegen die Axe des Vogels beim Niederschlage festgehalten werden kann; desgleichen antagonistisch gegen den großen Deltamuskel, in wiefern dieser den Oberarm rückwärts zu ziehen sucht.

§. 40.

Der kleine Brustmuskel (der Umroller des Oberarms ¹⁾) liegt unter dem großen Brustmuskel in dem Winkel, welchen die vordere Brustbeinfläche mit dem Brustbeinkamm macht, und hat hier die federartige, besonders bei den größten Vögeln hervortretende, Struktur, ist weiter an das untere Ende des Schlüsselbeins, wo es an das Brustbein eingelenkt ist, und an das Band zwischen dem Gabelknochen und dem Schlüsselbein befestigt, und geht mit einer fleischigen Sehne aufwärts durch das Loch, das von der Vereinigung des Gabelknochens mit dem Schlüsselbeine und dem Schulterblatt an der Schulter gebildet wird (§. 20), wie über eine Rolle, und inserirt sich an der vorderen Kante des gegen die Schulter liegenden Theils der vorspringenden Leiste, nahe an der letzten Insertion des Brustmuskels an dieser Kante.

Fig. 4 Fig. 4, 5 (6). Am oberen Ende des Schlüsselbeins ist ein kleiner Hülfsmuskel befestigt, der sich mit der Sehne des vorigen verbindet, auch sich etwas fleischig an der Kante der Leiste fortsetzt.

¹⁾ Le pectoral moyen de *Cuvier*.

Dieser Muskel schlägt oder rollt das nach der Vollendung des Niederschlags an den Leib gezogene Oberarmbein um, es zum Theil um seine Axe von aussen nach innen drehend, zum Theil hebend, weshalb die Gelenkfläche des Oberarmkopfes mit der Axe des Armes unter einem Winkel nach hinten umgebogen ist (§. 21), weil sonst bei dieser Umrollung der Gelenkkopf aus dem Gelenke treten müßte, wenn diese Einrichtung nicht getroffen wäre. Die Lage dieses Muskels unten im Winkel des Brustbeinkamms hat einen doppelten Vortheil: den einen, daß sein Gewicht den Ballast nach unten und nach der Brust vergrößert; den zweiten, daß seine Kontraktion während der Umrollung und Hebung des Oberarms auf den Rumpf hebend wirkt, während dieser Muskel, wenn er an der Schulter befestigt, von oben nach unten wirkte, einen Druck von oben nach unten hervorbrächte, so daß also bei dieser Einrichtung während dieser Bewegung, welche die Hebung des ganzen Flügels vor einem neuen Niederschlage bewirkt, der Druck nach abwärts vermieden wird.

§. 41.

Der Schulterarmmuskel (der Antagonist des Umrollers ¹⁾) entspringt von dem unteren Rande des vorderen Endes des Schulterblattes, auch von der inneren Kante des oberen Theils des Schlüsselbeins, und setzt sich nach innen hinter dem unteren großen Höcker fest, an welchem der kleinste Brustmuskel befestigt ist, Fig. 4, 5 (7), so daß seine Kontraktion mit dem vorigen rücksichtlich der Drehung des Oberarmbeins in entgegengesetzter Richtung wirkt, indem seine Anheftung jener des vorigen Muskels gerade entgegengesetzt ist. Er begrenzt die Erhebung und Umrollung des Oberarms, als Antagonist des kleinen

Fig 4
und 5.

¹⁾ L'huméro-scapulaire de Vicq d'Azyr.

Brustmuskels. Durch die Wirkung dieses Muskels wird daher die Grösse der Erhebung des Flügels bestimmt.

§. 42.

Der breite Rückenmuskel (der Rückwärtszieher des Oberarms ¹⁾) kommt in zwei bandförmigen Portionen von den Rückenwirbeln: die vordere Portion entspringt sehnig an den Dornfortsätzen des zweiten bis fünften Rückenwirbels; die hintere, bedeutend stärkere, kommt sehnig von den Dornfortsätzen der übrigen Rückenwirbel und von dem vorderen Darmbeinrande. Beide Portionen laufen vereinigt als ein breiter Muskel über die ganze Länge des Schulterblattes weg und inseriren sich mit einer breiten Sehne an die obere Fläche des Oberarmbeinkopfes, parallel mit der Insertion des gröfseren Deltamuskels, so dafs zwischen beiden nur eine schmale Linie bleibt, auch mehrere Sehnenfasern in

Fig. 4. das Deltamuskelsende übergreifen, Fig. 4 (8). Seine Insertion geht weit hinaus, wirkt also an einem langen Hebelarm gleich dem Deltamuskel, dessen Insertionsfläche jedoch noch weiter hinausgeht. So beträgt z. B. bei einem Adler die Entfernung des äufseren Endes der $1\frac{1}{4}$ Zoll langen Anheftung des breiten Rückenmuskels von der Gelenkfläche oder dem Umdrehungspunkt $2\frac{1}{4}$ Zoll; das Ende der Anheftung des Deltamuskels geht noch um $\frac{3}{4}$ Zoll darüber hinaus.

Die Hauptfunktion dieses Muskels ist die Hebung des Rumpfes von hinten nach vorn während des Niederschlages des Flügels. Denn während dieser Niederbewegung erhält der Oberarm und der Flügel durch die Wirkung und Gegenwirkung des grofsen und kleinsten Brustmuskels, des grofsen und kleinen Deltamuskels, durch den Schulterblattmuskel, und selbst durch die Reaktion des Rückenmuskels, gegen die Gelenkpfanne oder den Rumpf eine

¹⁾ Le grand dorsal de Cuvier.

festen Lage; indem sich nun der Oberarm niederbewegt, folglich die Insertion des breiten Rückenmuskels sich im Verhältnisse dieser Bewegung vom Rücken entfernt, auch während dieser Bewegung dieser Muskel der vorwärts treibenden Kraft des Flügels, welche diesen in der Horizontalebene im Gelenke zu drehen strebt, entgegenwirkt, muß sich nothwendig durch die Kontraktion dieses Muskels, dessen Angriffspunkt hauptsächlich gegen das Darmbein hin liegt, der Rumpf oder der hintere Theil des Rückens heben; was man auch deutlich sieht, wenn man den Oberarm festhält und den breiten Rückenmuskel zusammenzieht. Diese Wirkung wird ganz besonders unterstützt durch die Steifheit des Rückens, welche den Vögeln eigenthümlich ist, indem sich die Rückenwirbel mit dem Darmbein als eine steife Knochenfläche verbinden (§. 9).

Die Wirkung dieses Muskels ist es hauptsächlich, welche dem Vogel im Fluge die horizontale Lage gibt. Denn der Schwerpunkt des Vogelkörpers liegt hinter der Linie, welche beide Flügelgelenke verbindet, beiläufig gegen die Mitte des Rumpfes zu (eine Einrichtung, die nothwendig ist, wie wir in der Folge sehen werden); wenn sich daher der Vogel von der Erde zu heben anfängt, so hängt in dem ersten Augenblick sein Leib stark nach hinten, aber nach dem ersten Flügelschlage hat er durch die erwähnte Wirkung des breiten Rückenmuskels bereits die horizontale Lage erlangt. Bei langhalsigen Vögeln, die durch Ausstreckung des Halses den Schwerpunkt mehr den Flügelgelenken nähern, ist daher auch dieser Muskel bedeutend schwächer, als bei anderen mit kürzerem Halse, wie den Falken.

B. Muskeln zur Bewegung des Vorderarms.

Zur Bewegung des Vorderarms dienen 9 Muskeln, die zum Theil am Rumpfe, größtentheils am Oberarm befestigt sind, und sich an das innere Ende des Vorderarmknochens inseriren.

§. 43.

Der lange Streckter des Vorderarms ¹⁾ entspringt an dem vorderen Ende des Schulterblattes hinter seiner Gelenkfläche, und setzt sich mit einer starken Sehne an den zwischen der Gelenkfläche des Oberarmbeins spielenden Fortsatz der Elle des Vorderarms fest. Er streckt den Vorderarm; durch diese Streckung, die mit mehr oder minder Heftigkeit geschieht, bewirkt der am Schulterblatte befestigte Muskel einen Zug oder Stofs nach vorwärts.

§. 44.

Der kürzere Streckter des Vorderarms. Dieser Muskel entspringt von der inneren Fläche des bogenförmigen Wulstes, welcher das Luftloch des Oberarmbeinkopfes, Fig. 4 (6), von unten begrenzt, und setzt sich mit seiner Sehne neben denselben Fortsatz der Elle des Oberarmbeines, jedoch etwas mehr nach vorn oder oben, so dafs die Sehne in einer kleinen Vertiefung des vorderen oder oberen Gelenkknorrens läuft. Beide Muskeln wirken gemeinschaftlich zur Streckung des Vorderarms, der letztere im Besondern als Hülfsmuskel des Vorigen zur steifen Haltung des Ober- und Vorderarms im Niederschlage des Flügels. Vermöge seiner Anheftung am Oberarmbeinkopfe streckt er den Vorderarm unabhängig von der Lage des Oberarms. Die Sehnen beider Muskeln sind in einiger Entfernung vor ihrer Insertion durch eine Membran verbunden, welche zwischen den zwei Gelenkknorren des Oberarms spielt.

§. 45.

Der kleinste Streckter des Vorderarms ²⁾, ein kleiner, fast dreieckiger Muskel, der von der hinteren Fläche des äufseren Oberarmbeinendes kommt und sich an die Gelenkkapsel

¹⁾ Le long extenseur du coude de *Cuvier*.

²⁾ Le petit anconé de *Cuvier*.

des Vorderarms inserirt. Er entfernt oder streckt den Vorderarm aufserhalb der Flugbewegung und verstärkt mit dem nachfolgenden kurzen Beuger der Elle die Lage der Einlenkung des Oberarms mit dem Vorderarm zur Unterstützung der Bänder.

§. 46.

Der zweiköpfige Armmuskel (dem *biceps brachii* beim Menschen analog) liegt an der vorderen Fläche des Oberarmbeines, und entspringt mit dem langen Kopfe sehnig vom vorderen Schlüsselbeinende und dem oberen Ende des Gabelknochens, wo dieser sich an das Schlüsselbein anlegt; mit dem kurzen Kopfe kommt er sehnig von dem unteren Höcker des Oberarmkopfes. Beide Köpfe vereinigen und inseriren sich mit einer starken und langen Sehne an die vordere Fläche der Speiche und der Elle des Vorderarms, da wo beide Knochen in der Nähe des Gelenkes an einander liegen. Er zieht den Vorderarm an und ist Antagonist der beiden Streckmuskeln, §. 43 und 44, von denen der erste am Rumpfe, der andere am Oberarmbeinkopfe entspringt. Durch die Wirkung dieser Muskeln wird dem Vorderarm gegen den Oberarm bei der Entfaltung des Flügels eine beliebige Lage gegeben, nämlich die Neigung beider Arme gegen einander unter beliebigem Winkel.

§. 47.

Der innere Armmuskel (der Einzieher des Vorderarms ¹⁾) ist ein starker, platter, länglich viereckiger Muskel, welcher von der vorderen Fläche des äusseren Endes des Oberarmbeins entspringt und sich an die untere Fläche des Anfangsstückes der Elle des Vorderarms festsetzt. Er ist der Beugemuskel des Vorderarms bei der Einziehung des Flügels, und hierbei Hülfsmuskel des zweiköpfigen Armmuskels, um den Vorderarm hinreichend nahe an den Oberarm einzuziehen.

¹⁾ Le court et profond fléchisseur de l'avant-bras de Cuvier.

§. 48. **Der kurze Beuger der Elle des Vorderarms** entspringt als ein kleiner und dünner Muskel vom unteren Gelenkknorren des Oberarmbeins und setzt sich an das Ende der Beugseite der Elle am Gelenke: er beugt etwas, und wirkt im Übrigen antagonistisch mit dem kleinsten Strecker des Vorderarms (§. 45) zu demselben Zwecke.

§. 49. **Der kürzere Niederzieher des Vorderarms**¹⁾, ein schmaler und platter Muskel, der sehnig über dem unteren Gelenkknorren des Oberarmbeins entspringt, schief abwärts läuft und sich an die vordere Fläche des dem Oberarm näher liegenden Drittheils der Speiche inserirt.

§. 50. **Der längere Niederzieher des Vorderarms**²⁾, ein bedeutend stärkerer Muskel als der vorige, der sehnig von dem unteren Gelenkknorren des Oberarmbeins kommt, schief gegen die Speiche läuft und sich an der unteren Fläche der Hälfte der Speichenlänge inserirt.

Beide Muskeln wirken gemeinschaftlich; sie wirken nicht pronirend, da dieses hier keinen Zweck hat, auch wegen der Einlenkungsart der Speiche nicht thunlich ist (§. 24), sondern sie ziehen mittelst der Speiche den Vorderarm nach abwärts, damit die Flügelfläche im Niederschlage die steife Ebene erhalte. Denn da der Widerstandspunkt im Flügel von der Einlenkung des Vorderarms in den Oberarm bedeutend weit hinaus liegt, folglich der Luftwiderstand auf diese Einlenkung mit einem langen Hebelarme

¹⁾ Le muscle qui tient lieu du pronateur rond, de *Cuvier*; der kürzere Vorwärtswender der Speiche, von *Tiedemann*.

²⁾ Le radial externe de *Vicq-d'Azyr*, der längere Vorwärtswender der Speiche, von *Tiedemann*.

nach aufwärts wirkt, so würde ohne die Gegenwirkung dieser Muskeln, welche das Band der Oberarmbeinelle unterstützen, ein Umschlagen des äußeren Flügels nach oben unvermeidlich seyn. Je schneller oder energischer daher der Niederschlag, desto mehr werden diese Muskeln in Anspruch genommen.

§. 51.

Der Antagonist der Niederzieher ¹⁾ entspringt sehnig vom oberen Gelenkhöcker des Oberarmbeins, und inserirt sich an die obere Speichenfläche. Er ist Antagonist der beiden vorigen.

Von den Muskeln, welche auf den Oberarm wirken, dienen also nur die beiden Streck- und Beugmuskeln (§. 43, 44, 46, 47) bei der direkten Flugbewegung, die übrigen erhalten den äußeren Flügel in seiner steifen Verbindung mit dem Oberarm der gehörigen Lage entsprechend.

C. Muskeln zur Bewegung der Mittelhand und der Finger.

a. Muskeln, welche am Vorderarm liegen.

An der Elle und der Speiche des Vorderarms liegen 9 Muskeln, welche auf die Mittelhand und die Finger wirken; sie sind:

§. 52.

Der lange Mittelhandstrecker ²⁾ kommt mit einer starken Sehne vom oberen Theil des Oberarmbeinendes, von einer kleinen Erhabenheit, die etwas hinter dem oberen Knorren, nämlich mehr gegen den Oberarm zu liegt, läuft an dem vorderen Theile

¹⁾ Le court supinateur de *Cuvier*; der Rückwärtswender der Speiche, von *Tiedemann*.

²⁾ Le radial de *Cuvier*; der lange Speichen - Mittelhandstrecker, von *Tiedemann*.

der Speiche fort, in deren Hälfte er sich an eine sehr starke Sehne setzt, welche über eine Rinne des Speichenhandwurzelknochens laufend sich an dem Daumenhöcker des Mittelhandknochens festsetzt. Dieser Muskel streckt die Mittelhand; streckt daher die äußeren Theile des Flügels, nämlich die Schwinge, aus. Der Mittelhandknochen macht durch diese Streckung mit der Elle des Oberarms einen stumpfen Winkel; kann jedoch auch bei mehreren Vögeln zur geraden Linie mit letzterer gestreckt werden. Vermöge seiner Anheftung hinter dem Knorren des Oberarmbeinendes sucht er bei seiner Kontraktion oder bei dieser Streckung den Oberarm dem Vorderarme zu nähern, wogegen der Streckmuskel des Vorderarms wirkt, durch welche Reaktion nicht nur die Steifheit der Streckung verstärkt wird, sondern auch bei der Streckung der Mittelhand der Winkel des Oberarms mit dem Vorderarm beliebig vermindert werden kann.

§. 53.

Der kurze Mittelhandstrecker ¹⁾ kommt fleischig von der hinteren Fläche der Speiche von ihrem Ende am Oberarm bis zur Mitte, von wo seine dünne Sehne neben der Sehne des vorigen Muskels gleichfalls über den Handwurzelknochen läuft, und sich wie diese an dem Daumenhöcker festsetzt. Seine Sehne ist viel schwächer, als die des langen Mittelhandstreckers. Er wirkt wie dieser, aber unabhängig vom Oberarm, so daß er sowohl als Hülfsmuskel desselben, als auch für sich zur Ausstreckung des äußeren Flügels dienen kann, ohne daß dabei eine Streckung des Ober- und Vorderarms Statt findet, wie dieses von den Vögeln außerhalb der Flugbewegung zuweilen geschieht. Er wirkt dem kürzeren Strecker des Vorderarms analog.

¹⁾ Le radial grêle de *Vicq-d'Azyr*; der kurze Speichen - Mittelhandstrecker, von *Tiedemann*.

§. 54.

Der Antagonist des langen Mittelhandstreckers¹⁾. Dieser Muskel entspringt sehnig am unteren Gelenkknorren des äusseren oder dem Vorderarm zugewendeten Theiles des Oberarmbeinendes, läuft fleischig an der hinteren Seite der Elle des Vorderarms fort, und inserirt sich mit einer sehr starken Sehne an die untere Erhabenheit des Ellenhandwurzelknochens an der unteren Fläche. Er ist der Antagonist des langen Mittelhandstreckers in der Ausstreckung der Mittelhand, indem er nicht nur in seiner Wirkung mit letzterem den Vorderarm mit der Mittelhand in jedem stumpfen Winkel bis zum Rechten während des Fluges und Niederschlages festhält, sondern auch der zu starken Streckung der Mittelhand nach vorn entgegen wirkt, was um so mehr nothwendig ist, als die auf die Hand- und Fingerknochen aufgelegten Federn beim Niederschlage des Flügels einen Druck nach vorwärts erleiden, der die Mittelhand horizontal nach vorn, oder aus ihrer Einlenkung mit dem Oberarm zu drehen sucht.

Neben diesem Muskel und hinter demselben läuft seiner ganzen Länge nach eine sehr starke, gegen die Mitte zu etwas fleischige, und hier mit dem Muskel verbundene, Sehne herab, welche von demselben unteren Gelenkknorren des Oberarms, jedoch etwas unter dem vorigen, entspringt, und sich ebenfalls an den Ellenhandwurzelknochen etwas vor dem vorigen inserirt. Von dieser Sehne laufen nach aufwärts an die Scheiden der Flügelfedern, welche unmittelbar auf der Elle des Vorderarms aufgelegt sind (die Fächerfedern), kleine Sehnen und zwar eine an jede Scheide; so daß diese Federn durch die Wirkung dieser Sehnen abwärts oder dem Luftwiderstande entgegen, niedergezogen werden. Auch die

¹⁾ Le Cubital interne de *Vicq-d'Azyr*; der Ellenbogen - Handwurzelbeuger, von *Tiedemann*.

Duplikatur der Haut, welche nach der Länge des Vorderarmknochens mit den Scheiden dieser Feder verbunden ist, steht durch Sehnenfasern mit jenem Muskel in Verbindung. Vermöge dieser Einrichtung, auf welche eine besondere, der relativen Wichtigkeit des Zweckes entsprechende Sorgfalt aufgewendet erscheint, hat es der Vogel in der Gewalt, die auf dem Vorderarm aufgelegten Federn beim Niederschlage des gestreckten Flügels in beliebigem Grade niederzuziehen, so daß dadurch die Flügelfläche nicht nur eine auf die Richtung des Niederschlags senkrechte Ebene bildet, sondern auch eine solche gebildet werden kann, welche mit der vorigen einen kleinen Winkel macht. Ausser dieser Funktion, welche bezweckt, den Fächer des Flügels in beliebigem Grade niederzuziehen, hat jene Sehne noch vermöge ihrer Befestigung an dem Handwurzelknochen die Wirkung, die Mittelhand niederwärts zu halten, nämlich der Tendenz des Luftwiderstandes, dieselbe beim Niederschlage nach aufwärts zu drehen, entgegen zu wirken, was um so nothwendiger ist, als wegen der nach aufsen gebogenen oder gewölbten Form des Flügels die Mittelhand mit dem Vorderarm in Beziehung auf die Horizontalebene einen stumpfen Winkel machen muß, und die Hebelwirkung des Luftwiderstandes des äußeren Flügels auf das Gelenk der Mittelhand bedeutend ist. Er wirkt in dieser Beziehung als ein starkes Band. Aus diesen Funktionen erklärt sich die starke sehnige Beschaffenheit dieser Muskeln.

§. 55.

Der lange Mittelhandbeuger ¹⁾ entspringt sehnig von dem oberen Knorren des Oberarmbeinendes, läuft über die obere Fläche der Elle des Vorderarms, geht mit seiner langen

¹⁾ Le Cubital interne de *Cuvier*; der Speichen-Mittelhandbeuger, von *Tiedemann*.

mittelstarken Sehne über eine Rinne am Ende derselben, und inserirt sich an den hinteren Rand des Speichenastes des Mittelhandknochens. Er zieht die Mittelhand gegen den Vorderarm bis zu einem Winkel von etwa 45° , und dient zur Einziehung des äußeren Flügels oder der Schwinge nach dem Flügelschlage, indem er zugleich die Mittelhand vermöge ihrer Einlenkung an den Handwurzelknochen so stellt, daß die Schwinge so unter den Fächer gezogen wird, daß sie, dem Leibe genähert, eine beinahe senkrechte Lage erhält, den Mittelhandknochen nach unten gekehrt (§. 26).

§. 56.

Der kurze Mittelhandbeuger ¹⁾, ein kleinerer Muskel, der von dem hinteren Ende der Elle des Vorderarms entspringt und sich an die Beugeseite des Ellenastes des Mittelhandknochens ansetzt. Er ist Hülfsmittel des vorigen, um die Mittelhand noch näher an den Vorderarm oder an den Leib zu ziehen, auf ähnliche Art, als der innere Armmuskel mit dem zweiköpfigen Muskel zur Einziehung des Vorderarms wirkt.

§. 57.

Der Niederzieher der Mittelhand ²⁾, ein kurzer Muskel, der breitfleischig von der unteren Fläche der nächstliegenden Hälfte der Elle des Oberarms kommt und mit einer kurzen, starken Sehne über eine Rinne des Speichenhandwurzelknochens laufend, sich von unten an das vordere Ende des Mittelhandknochens neben dem Daumenhöcker ansetzt. Die Funktion dieses Muskels ist jener der Niederzieher des Vorderarms analog; er zieht die Mittelhand oder die Schwinge niederwärts, dem Luftwiderstand entgegen, indem er dabei etwas pronirt, folglich dem äußeren

¹⁾ Le court fléchisseur de l'os du métacarpe de *Vicq.-d'Azyr*; der kurze Beuger des Mittelhandknochens, von *Tiedemann*.

²⁾ Le Cubital externe de *Cuvier*; der Ellenbogen - Mittelhandstrecker. von *Tiedemann*.

Flügel eine etwas nach vorn gewölbte Stellung gibt. Er dient also zur Unterstützung oder Vervollständigung der Wirkung der langen Sehne des Antagonisten des Mittelhandstreckers, indem er, je nach der Stärke oder Energie des Niederschlages mehr oder weniger in Anspruch genommen, die Stellung der Mittelhand nach abwärts sichert.

§. 58.

Der Streckter des großen Fingers ¹⁾ kommt fleischig von der hinteren Fläche der Speiche des Vorderarms; seine lange ziemlich starke Sehne läuft über eine Rinne der oberen Fläche des Mittelhandknochens, und an diesem fort, die Sehne des nachfolgenden Muskels überkreuzend, geht über einen Knorpel an der Basis des Knochens des ersten Fingergliedes, an welchen er sich mit einer kurzen Sehne befestigt, an der Ausstreckseite dieses Gliedes fort und inserirt sich an die Basis des zweiten Gliedes. Dieser Muskel bewirkt die Streckung der beiden Glieder des großen Fingers gerade aus, wodurch sie, von unten oder oben gesehen, mit der Mittelhand in eine gerade Linie kommen; von vorne gesehen bildet der Finger mit der Mittelhand einen sehr stumpfen Winkel. Durch diese Streckung werden die sechs ersten Schwungfedern aus einander gezogen, so daß ihre Ausschnitte frei werden, oder überhaupt der äußerste Theil des Flügels gehörig entfaltet wird, welches unabhängig von der Streckung der Mittelhand, nämlich unter jedem Winkel der Mittelhand mit dem Vorderarm geschieht, so daß die Ausbreitung der Schwinge durch diese Streckung auch bei halb eingezogenem Vorderarme erfolgt.

Nicht weit vom Austritte der Sehne dieses Muskels aus seiner Rinne oder Rolle am Mittelhandknochen setzt sich an dieselbe eine

¹⁾ L'adducteur externe de la deuxième phalange de Cuvier; der Streckter des ersten und zweiten Gliedes des zweiten Fingers, von Tiedemann.

kurze Sehne eines kleinen bauchigen Muskels, der mit dem anderen Ende an das Endstück des Mittelhandknochens befestigt ist, und für sich allein oder als Hülfsmuskel die Streckung des grossen Fingers bewirkt, wohl auch dazu dient, um die richtige Lage der grossen Sehne sichern zu helfen. Vermittelst dieses Muskels kann die Entfaltung der äusseren Schwinge auch beim an den Leib gelegten Flügel, wie beim Sitzen des Vogels, bewirkt werden.

§. 59.

Der Vorwärtswender des grossen Fingers ¹⁾. Dieser Muskel entspringt fleischig an der untern Fläche des mittleren Theiles der Elle des Vorderarms, geht mit seiner langen Sehne über eine Rinne des Ellenhandwurzelknochens, läuft über den unteren Höcker an der Ausstreckseite des ersten Gliedes des grossen Fingers unter der Sehne des vorigen Muskels weg, und inserirt sich von unten an das Endstück des zweiten Gliedes. Rücksichtlich der Streckung des grossen Fingers ist dieser Muskel Hülfsmuskel des vorigen, indem er für diese Streckung ganz eben so, und gleichfalls unabhängig von der Streckung der Mittelhand wirkt. Er zieht jedoch bei dieser Streckung die beiden Fingerglieder niederwärts, so dass sie unter einander und mit der Mittelhand einen stumpfen Winkel machen, zugleich pronirt er sie oder dreht sie vorwärts, durch welche Drehung den sechs oder sieben äussersten Schwungfedern, die vermöge der Streckung entfaltet oder aus einander gezogen werden, eine schiefe oder gewölbte Lage nach vorn gegeben wird, so dass die in dem zweiten Fingerglied befestigte Lenkfeder und die ersten Schwungfedern mit dem breiten Barte nach aufwärts gerichtet sind. Diese drehende Bewegung geschieht dadurch, dass das Endstück des grossen Fingers, mit welchem

¹⁾ L'extenseur interne du doigt de *Vicq-d'Azur*; der Strecker des zweiten und dritten Gliedes des zweiten Fingers, von *Tiedemann*,

dieser an die Mittelhand eingelenkt ist, sich auf der Gelenkfläche des Speichenastes der Mittelhand etwas von oben nach unten dreht oder pronirt, während die hintere Kante des Fingerknochens sich auf der anliegenden Fläche des kleinen Fingers als einem Hypomochlion bewegt (§. 29), wodurch die auf demselben unter einem kleinen Winkel aufgelagerten zwei großen Schwungfedern gleichfalls jene Drehung erhalten, und sie mittelst der die Scheiden verbindenden Haut den nächstliegenden mittheilen.

§. 60.

Der Rückwärtswender des großen Fingers ¹⁾. Dieser Muskel kommt sehnig von dem oberen Gelenkknorrn des Oberarmbeinendes, läuft an der Speiche des Vorderarms fort, und geht mit seiner dünnen Sehne über eine Rinne am Handwurzelende der Elle; gibt hier eine schwache Sehne an die Beugeseite des Daumenknochens ab, geht in gleicher Stärke fortlaufend an der Vorderseite des Speichenhandknochens in einer in dessen Fläche ihrer ganzen Länge nach eingegrabenen, schief gegen den Finger aufwärts gerichteten, Rinne fort (Fig. 6. *m, m*), und setzt sich an das vordere Endstück des ersten Gliedes des großen Fingers gegen die untere Kante fest.

Dieser Muskel hat rücksichtlich der Stellung der Schwungfedern die entgegengesetzte Funktion mit dem vorigen. Durch diesen Muskel wird das erste Fingerglied vermöge seiner Bewegung auf der Gelenkfläche des Speichenastes der Mittelhand und der Seitenfläche des kleinen Fingers rückwärts gedreht, so daß die vordere oder Speichenfläche des großen Fingers nach aufwärts gerichtet ist, wodurch die Schwungfedern mit ihren Fahnen etwas von vorn nach hinten gedreht, oder ihre schmalen Bärte nach

¹⁾ L'abducteur commun de *Cuvier*; der gemeinschaftliche Beugemuskel des Daumens und des zweiten Fingers, von *Tiedemann*.

aufwärts gerichtet werden, wodurch sie von einander entfernt parallel neben einander (jalousienartig) zu stehen kommen. Diese Richtung erhalten die Schwungfedern unmittelbar vor der Ausstreckung des Flügels vor dem Niederschlage, wodurch bei der Bewegung des vorher zusammengezogenen Flügels nach auswärts der Luftwiderstand vermieden wird, indem die Schwungfedern die Luft mit ihren scharfen schmalen Bärten getrennt durchschneiden. Diese Wirkungsart des Muskels ist durch die feste Lage der in die Rinne des Handspeichenastes eingelagerten Sehne bedingt und gesichert, ohne welche die Supinirung des Fingers nicht, oder nur unvollkommen möglich wäre; denn nimmt man die Sehne aus der Rinne heraus und zieht in der Richtung parallel mit der Mittelhand, so beugt sie den Finger, was sie in ihrer natürlichen Lage nicht thut.

Dieser Muskel beugt zugleich den Daumenknochen oder zieht den Lenkfittich ein, damit dieser Fittich bei dieser Ausstreckung des Flügels keinen Widerstand verursache.

b. Muskeln, welche an der Mittelhand liegen.

An der Mittelhand liegen 7 Muskeln, welche zur Bewegung der Finger dienen, und im Vergleiche zu den vorhergehenden von geringer Masse sind.

§. 61.

Der Niederzieher des grossen Fingers¹⁾. Dieser Muskel kommt fleischig von der unteren Fläche des Speichenastes des Mittelhandknochens, und setzt sich mit einer starken kurzen Sehne von unten an das vordere Endstück des ersten Gliedes des grossen Fingers. Er ist dem Niederzieher der Mittelhand ana-

¹⁾ L'adducteur de la première phalange de *Cuvier*; der Strecker des ersten Gliedes des zweiten Fingers, von *Tiedemann*.

log, mit der ähnlichen Funktion, indem er das erste Glied des grossen Fingers bei seiner Streckung niederwärts zieht.

§. 62.

Der Beuger des grossen Fingers¹⁾. Dieser Muskel bedeckt die hintere Fläche oder Beugeseite des Ellenastes des Mittelhandknochens, und setzt sich mit seiner Sehne an den hinteren Rand des entweder unmittelbar oder mittelst eines Bandes mit dem ersten Gliede des grossen Fingers verbundenen kleinen Fingers. Er beugt daher den grossen Finger, oder zieht ihn rückwärts, wodurch sich die äussersten Schwungfedern unter einander schieben. An diesem Muskel herab läuft eine lange Sehne, welche von der einen Seite an das Handwurzelende der Elle, von der andern an den kleinen Finger befestigt ist; diese Muskelsehne wirkt zur Niederhaltung der Schwungfedern mittelst der ihre Spulen umgebenden Sehnenhaut. Dieser Muskel, dem Antagonisten des langen Mittelhandstreckers analog, wirkt zugleich als Antagonist des Streckers des grossen Fingers, durch welche Gegenwirkung bei der Streckung eigentlich nur seine Wirkung auf die Schwungfedern möglich wird.

§. 63.

Der lange Daumenstrecker²⁾, ein kleiner Muskel, der von der Seite des Daumenhöckers entspringt und sich schräg an das Ende des Daumenknochens festsetzt. Er schiebt den Daumen nach vorn und abwärts.

§. 64.

Der kurze Daumenstrecker liegt zwischen dem Gelenke des Mittelhandknochens und dem Daumenhöcker, und setzt sich mit seiner kurzen Sehne an das Anfangstück des Daumen-

¹⁾ Le court fléchisseur du doigt de *Vicq-d'Azyr*; der Beugemuskel des dritten Fingers, von *Tiedemann*.

²⁾ L'extenseur de l'appendix de *Vicq-d'Azyr*.

knochens. Er schiebt den Daumen nach vorn, ohne ihn abwärts zu wenden.

Da an dem Daumenknochen der Lenkfittich befestigt ist, so wird durch beide Muskeln seine Vorwärtsschiebung bewirkt, wodurch derselbe unter dem vorderen Rande des Flügels hervortritt, und eine nach unten gewölbte Fläche bildet.

§. 65.

Die Einwärtszieher des Daumens. Den beiden vorigen Muskeln entsprechen zwei kleine Muskeln, welche zwischen dem Daumenhöcker und dem Mittelhandknochen liegen und den Daumen beugen, oder den Lenkfittich wieder einwärts und unter den Flügel ziehen.

§. 66.

Der obere Mittelhandmuskel (der Vorleger der Lenkfeder ¹⁾) liegt in dem Winkel zwischen dem Ellen- und Speichenaste des Mittelhandknochens bei ihrer Vereinigung am Handgelenke, und geht mit seiner dünnen Sehne hinter dem Speichenaste des ersten Fingergliedes fort und setzt sich an die obere Fläche des Anfangstückes des zweiten Gliedes. Dieser Muskel streckt das zweite Glied und schiebt die an demselben befestigte Lenkfeder vor, so daß sie unter der nächsten Schwungfeder hervortritt.

§. 67.

Der untere Mittelhandmuskel (der Zurückzieher der Lenkfeder ²⁾) liegt unter dem vorigen in demselben Raume zwischen dem Ellen- und Speichenaste des Mittelhandknochens, ist federförmig, d. i. er hat in der Mitte einen

¹⁾ L'interosseux antérieur de *Vicq-d'Azyr*; der äußere Mittelhandmuskel, von *Tiedemann*.

²⁾ L'interosseux postérieur de *Vicq-d'Azyr*; der innere Mittelhandmuskel, von *Tiedemann*.

Sehnenstreifen, an welchen sich die Muskelfasern von beiden Seiten ansetzen. Seine Sehne läuft an dem Ellenaste der Mittelhand fort über den scharfen Rand des ersten Fingergliedes, welcher dessen Ellenast vorstellt, und setzt sich an das hintere Ende des zweiten Gliedes. Er beugt oder zieht dieses Glied nach rückwärts, schiebt daher die an demselben befestigte Lenkfeder zurück und unter die nächste Schwungfeder. Rücksichtlich der Vor- und Zurückschiebung der Lenkfeder wirkt er antagonistisch zum vorigen, so wie zum Strecker des grossen Fingers, indem durch seine Gegenwirkung der Grad dieser Vor- und Zurückschiebung beliebig regulirt werden kann, woraus sich seine mehr sehnige Struktur erklärt.

D. Muskeln, welche zur Bildung der inneren Flügeldecke wirken.

§. 68.

Die Federn der Schwinge des Flügels sind auf den grossen Finger und die Mittelhand aufgelegt, jene des Fächers auf den Vorderarm. Der Vorderarm macht bei der vollen Ausstreckung des Flügels mit dem Oberarme einen stumpfen Winkel, und die Ebene dieses Dreiecks ist gegen die Horizontalebene nach vorn geneigt. Dieses schiefliegende Dreieck, das durch den Ober- und Vorderarm und durch eine Linie, die von der Schulter bis zum Handgelenke geht, gebildet wird, ist mit einer mit Federn bekleideten Haut oder Hautduplikatur ausgefüllt. Diese Bedeckung der vorderen Öffnung des inneren Flügels heisst der Windfang (die vordere Flügelhaut). Der Raum, welcher bei der erwähnten Stellung des Oberarms zwischen dem Fächer und dem Leibe des Vogels bleibt, ist durch mehrere längere Federn, gewöhnlich 5 bis 6 von derselben Form wie die Fächerfeder mit zahlreichen Deckfedern von oben und unten, ausgefüllt, welche man als den Deck-

fittich bezeichnen kann. Diese Federn sind in der den fleischigen Oberarm bedeckenden und nach rückwärts eine Duplikatur bildenden Haut eingesetzt (die hintere Flügelhaut). Diese Haut wird durch die Sehne eines zum Theil von der äußeren Fläche der hinteren Rippen kommenden, zum Theil eine Portion des breiten Rückenmuskels bildenden, Muskels gespannt, wodurch sich die an den Leib anliegenden Federn niederziehen, und auf diese Art, indem sie sich an die letzten Fächerfedern und mehrere auf dem Oberarmbeinknorren liegende kleinere Federn anschließen, die Flügelfläche hinter dem Oberarm vervollständigen.

§. 69.

Die zwischen dem Oberarm und Vorderarm ausgebreitete Duplikatur der Haut wird durch einen Muskel gespannt (der Spanner des Windfangs), der bandförmig vom oberen Ende des Gabelbeines kommt und sich in zwei Portionen theilt. Die eine stärkere setzt sich an eine die Duplikatur der Windfangshaut in einiger Entfernung von dem Oberarm und parallel mit demselben durchlaufende Sehne, welche sich an dem langen Mittelhandstrecker, in einiger Entfernung von seiner Anheftung an den Knorren des Oberarmes, festsetzt; sie spannt den obern Theil des Windfangs bei der Streckung des Flügels. Die andere schwächere Portion vereinigt sich mit einer mit dem vorderen Theile des großen Brustmuskels verbundenen Muskelportion, und setzt sich an die lange dünne Sehne, welche am Rande der Duplikatur, innerhalb derselben, fortläuft, über den Handwurzelknorren geht, und sich an den Daumenhöcker befestigt. Durch diesen Muskel wird also der Windfang bei der Ausstreckung des Flügels gespannt, und zwar bei jedem Winkel des Oberarms mit dem Vorderarme, da die Duplikatur vermöge der sie durchkreuzenden Sehnenfasern sehr elastisch ist.

§. 70.

Mit dieser vorderen Flügelhaut steht eine andere Duplikatur in Verbindung, welche von der Seite des Halses vor der Schulter kommt, sich beinahe dreieckig ausbreitet, den Winkel zwischen dem Halse und der Schulter ausfüllt, und am unteren Ende an dem Muskel hängt, welcher die Haut des Windfangs spannt. Ihr Rand ist nach abwärts gekehrt, und bildet sonach eine Fortsetzung des Windfangs über die Schulter hinaus bis an den Hals.

§. 71.

Unter der Haut, welche den großen Brustmuskel seitwärts bedeckt, liegt ein Muskel, der Brusthautmuskel, welcher die Haut an der Seite der Brust spannt, zur Festhaltung und Steifung von längeren Federn, die sich von der Seite abwärts bewegen und durch diese Sträubung eine Erweiterung des Windfangs nach unten bilden, der beim Niederschlagen des Flügels das Ausweichen der Luft unter der Schulter nach vorn hindert.

E. Muskeln und Organe, welche am Rumpfe zum Fluggeschäfte mitwirken.

§. 72.

Obgleich das Knochengerüste, an welchem das Oberarmbein eingelenkt ist, hinreichend stark und mit starken Bändern verbunden ist, so ist es doch noch durch mehrere Muskeln verstärkt, die dem Ganzen gegen die Reaktion der an den Oberarmbeinkopf angesetzten Muskeln eine feste Lage geben. Diefes gilt besonders von dem Schulterblatt, das mit seinem vorderen Ende gemeinschaftlich mit dem oberen oder vorderen Ende des Schlüsselbeines die Gelenkgrube für den Oberarmbeinkopf bildet, und für die feste Lage des Schlüsselbeines selbst nicht nur eine sichere Stütze ist, sondern von welchem auch mehrere Muskeln entspringen, die bei der Bewegung des Oberarmbeins wirksam sind. Diese

Muskeln des Schulterblattes verbinden dasselbe mit dem Rücken und den Rippen, und sichern dadurch den Stützpunkt gegen den Zug der an das Oberarmbein gehenden Muskeln. Von diesen Muskeln wirken besonders der Kappenmuskel (*le trapèze de Cuvier*), der grofse und kleine Rautenmuskel (*rhomboïde de Cuvier*) gegen den Zug oder die Reaktion des Schulterblattmuskels, des Schulterarmmuskels und des langen Streckers des Vorderarms; der grofse Sägemuskel (*le grand dentelé de Cuvier*) gegen die Reaktion des grofsen deltaförmigen Muskels. An das untere Ende des Schlüsselbeines inserirt sich gleichfalls ein von dem vorderen Seitenfortsatze des Brustbeins kommender Muskel (der Schlüsselbeinmuskel), der die Stellung des Schlüsselbeines gegen den Druck des Oberarms von aufsen nach innen unterstützt.

§. 73. Knochen und Oberschenkelbein.

Eine sehr merkwürdige, den Vögeln eigenthümliche, organische Einrichtung ist die Verbreitung mehrerer häutigen Luftsäcke oder Luftbehälter in der Brust- und Bauchhöhle des Rumpfes, welche mittelst mehrerer Luftröhrenäste mit den Lungen in Verbindung stehen und eigentlich eine Erweiterung dieser selbst vorstellen. Die gegen das Herz gekehrte mit dem Brustfell überzogene Fläche der Lunge (nur diese Fläche ist mit dem Brustfell bedeckt, da die entgegengesetzte oder obere an die Rippen und Brustwirbel befestigt ist) ist mit 5 bis 7 Öffnungen durchbohrt, in welche Bronchien-Äste einmünden, die mit den anliegenden durch Erweiterung des Brustfells gebildeten Luftbehältern in unmittelbarer Verbindung stehen. Aufser dem in der Bauchhöhle ausgebreiteten, nach hinten bis zum Steifse fortlaufenden, die Bauch- und Oberschenkelmuskeln umgebenden und in die Oberschenkelknochen einmündenden bedeutenden Luftbehälter ist einer der grössten, bei den hohen Fliegern zumal, durch die an einander hängenden Luftzellen gebildet, welche die am Schulterblatt, Schlüsselbein, Ga-

belknochen, am vorderen Theil des Brustbeins und an den Rippen liegenden, den Oberarm bewegenden Muskeln, und den Kopf des Oberarmbeins selbst umgeben (*Merrem's* Schulter-, Schlüsselbein-, Achsel- und Rückenluftzelle). Neben und vor diesen Behältern liegt eine andere grofse Zelle (*M.* Luftröhren-Luftzelle), welche zwischen den Luftröhrenästen nach vorn sich ausdehnt, auf der Luftröhre liegt, und über den Gabelknochen als eine grofse häutige Blase hervortritt. Alle diese Luftbehälter oder Luftsäcke stehen durch Öffnungen mit einander in Verbindung. Diese Luftzellen verbinden sich an den geeigneten Stellen mit der inneren Beinhaut der anliegenden Knochen durch die in diesen befindlichen Öffnungen, so dafs auch diese markleeren Knochen, nämlich das Oberarmbein, Schlüsselbein, Schulterblatt, Brustbein, Beckenknochen und Oberschenkelbein mit Luft gefüllt werden ¹⁾.

§. 74.

Mit diesen Luftbehältern steht die, gleichfalls den Vögeln eigenthümliche, blasbalgartige Einrichtung des Brustbeins (§. 15) in Verbindung, das mittelst der unter einem rechten Winkel mit den Rippen eingelenkten, leicht beweglichen Rippenanhänge von dem Rücken entfernt oder demselben genähert werden kann, indem sich die Rippenanhänge den Rippen unter einem mehr oder minder spitzigen Winkel nähern, wodurch die Brusthöhle erweitert oder verengt, folglich die enthaltenen Luftsäcke ebenfalls erweitert oder zusammengedrückt werden. Die Erweiterung oder die Entfernung des Brustbeins von der Wirbelsäule geschieht vorzüglich durch den inneren oder dreieckigen Brustmuskel, der beträchtlich stark und sehnig von der inneren vorderen Fläche des Brustbeins kommt, und sich mit 5 bis 6 Portionen an die Anfangs-

¹⁾ Am ausführlichsten über die luftführenden oder pneumatischen Knochen der Vögel handelt *C. A. Nitzsch* in seinen „osteographischen Beiträgen zur Naturgeschichte der Vögel. 1811.“

stücke der Rippenanhänge, nahe ihrer Einlenkung an die Rippen, setzt, folglich die Rippenanhänge nach vorn zieht, wodurch sich ihr Winkel mit den Rippen vergrößert und das Brustbein sich abwärts bewegt. Als Hülfsmuskel können diesem noch der erste und zweite Rippenhalter beigezählt werden, die von den letzten Halswirbeln entspringen und sich an die erste Rippe ansetzen, folglich zur Hebung des Rückens beitragen. Zur Verengerung der Brust- und Bauchhöhle, sonach zur Entleerung der Luftbehälter wirken der innere und äußere schräge Bauchmuskel und der Querbauhmuskel, welche unmittelbar die Bauchhöhle verengend, die Luftsäcke des Bauches zusammen drücken; dann der gerade Bauchmuskel, der bandförmig von dem hinteren inneren Rande des Brustbeins entspringt und mittelst einer sehnigen Haut an das Schambein befestigt ist. Er zieht den hinteren Theil des Brustbeins, sonach das ganze blasbalgartig eingelenkte Brustbein aufwärts, wirkt also für die Hebung des Brustbeins wie der innere Brustmuskel für die Senkung, und daher mit letzterem antagonistisch. Die Entleerung der Luftbehälter wird übrigens noch durch ihre Fähigkeit, sich selbst zusammenzuziehen, unterstützt, indem ihre Häute, wenigstens grobentheils, mit feinen Muskelfasern durchzogen sind. Wir werden nachher sehen, daß außer diesen Organen, welche eine stetige und allmälige Entleerung der Luftsäcke bewirken, noch eine kräftigere Hebung des Brustbeines, analog der Senkung desselben durch den inneren Brustmuskel, durch die Gegenwirkung des großen Brustmuskels bewirkt wird.

Das Respirationssystem.

§. 75.

Über Zweck und Bestimmung dieser Luftbehälter sind verschiedene Meinungen geltend gemacht worden: Einige haben sie

aus dem aërostatischen Gesichtspunkte betrachtet und geglaubt, daß diese mit einer erwärmten, leichteren Luft gefüllte Blasen das Gewicht des Vogels vermindern, folglich sein Fliegen erleichtern. Diese oft wiederholte Ansicht bedarf keiner näheren Widerlegung; denn eine einfache Rechnung zeigt, daß jene Verminderung des Gewichtes durch die in den Behältern eingeschlossene leichtere Luft gegen das Gewicht des Vogels eine verschwindende GröÙe ist; welcher Einfluß noch ganz dadurch beseitigt wird, daß die Luft in den Behältern sich im komprimirten Zustande befindet. Andere glauben, daß durch die Wände der Luftzellen hindurch der Sauerstoff der eingeschlossenen Luft auf die anliegenden Organe wirke, sonach eine Oxydation des Blutes gleich jener in der Lunge bewirke. Allein es ist nicht anzunehmen, daß die Luft auf ähnliche Art durch die völlig luftdichten Häute dieser Zellen wirken könne; auch hätte die Natur einen ähnlichen Zweck weit sicherer und vollständiger erreichen können, wenn sie die Häute der Zellen selbst mit Blutgefäßen versehen hätte, was keineswegs der Fall ist; auch müßte bei dieser Funktion der Luftzellenhäute ein geringerer Unterschied zwischen dem venösen und arteriellen Blute bei den Vögeln Statt finden, als er wirklich besteht.

Da dieser Gegenstand, welcher den Mechanismus der Respiration der Vögel begreift, über dem noch so manches Dunkel schwebt, mit den Flugfunktionen dieser Thiere in wesentlicher Verbindung steht; so ist es nothwendig, ihn hier näher zu betrachten.

§. 76.

Jede der beiden von der Luftröhre auslaufenden Bronchien bildet nach dem Eintritt in ihre Lunge, wo sie noch zum Theil ihre knorpelringige Struktur behält, eine ovale membranöse Erweiterung, aus deren hinterem Theile eine große Öffnung in die Luftbehälter einmündet. Am vordersten Theile dieser Erweiterung,

an welcher noch die unvollständigen Knorpelbögen sich befinden, öffnen sich zwischen den fünf bis sechs vordersten derselben vier oder fünf ovale Löcher, die von den entsprechenden Knorpeln offen gehalten werden, und aus welchen eben so viele grössere dünnhäutige Röhrenäste ablaufen, die sich an der unteren Seite der Lunge verbreiten. Hinter jenen Öffnungen liegt noch eine Reihe anderer, von vorn nach hinten im Durchmesser abnehmender, von denen die auslaufenden grösseren Röhrenäste sich am oberen Theile der Lunge, die kleineren in der Lungensubstanz selbst verbreiten. Die weitesten dieser unmittelbar von den Bronchien-Ästen auslaufenden Röhren münden sich in fünf bis sieben in der Lungenfläche befindliche Öffnungen ein, welche mit den Luftbehältern in Verbindung stehen. Von diesen sekundären Ästen laufen in die Lunge sehr zahlreiche tertiäre nahe und parallel an einander liegende Verzweigungen, als dünnere, dickhäutige elastische Röhren ab, die sich nach allen Richtungen, besonders von der oberen nach der unteren Lungenfläche, verbreiten, seitwärts unter einander und mit den sekundären Röhren kommunizieren, so dafs das Ganze ein vielverzweigtes, in allen Theilen kommunizirendes, Röhrennetz bildet, das mit den zahlreichen Blutgefäfsen, die von der Lungen-Arterie und Vene kommen, mit einigem Zellgewebe verbunden, die Substanz der Lunge ausmacht.

Statt dafs sich, wie bei den Säugethieren, die Enden der letzten Bronchien-Verzweigungen als Terminal-Luftzellen darstellen, auf denen die Hämatose vorgeht, sind hier die Seiten der Wände dieser Luftkanäle, nämlich der feineren sekundären Röhren, welche nicht unmittelbar in die Luftsäcke einmünden, dann aller aus den sekundären entspringenden tertiären Röhren, mit einem Netze von Parietalzellen bekleidet, auf denen sich die Blutgefäfsse verbreiten und mit der Luft in Berührung kommen. Diese Wände stellen ein aus elastischen Fasern gebildetes Netz von po-

lygonalen, in der Regel sechsseitigen Maschen dar, welche die Luftzellen von gleicher Form umgeben. Diese Zellen sind verhältnißmäßig größer als bei den Lungen der Säugethiere; auch die Luftkanäle behalten einen bedeutend größeren Durchmesser, als die letzten Verzweigungen der Bronchien in den Lungen der Säugethiere. Auf der anderen Seite ist die Kapazität dieser Luftkanäle im Verhältnisse zu jener der Blutgefäße geringer, da letztere ein gedrängtes Netz bilden, das den größeren Theil der Masse der Lunge ausmacht.

§. 77.

Diese Struktur der Lunge der Vögel weist hinreichend deutlich darauf hin, daß dieses Organ so eingerichtet ist, damit in derselben Zeit eine viel bedeutendere Menge venoses Blut mit der Luft in Berührung gebracht werden könne, als dieses bei der Lunge der Säugethiere, für gleiche Größe derselben, möglich ist, und daß, damit dieser Zweck erreicht werde, auch eine verhältnißmäßig bedeutendere Luftmenge den Luftkanälen zugeführt werden müsse.

§. 78.

Diese gesteigerte Zuführung der Luft kann möglicher Weise nicht durch die äußere Ausdehnung und Zusammenziehung der Lungen, wie bei den Säugethieren durch die abwechselnde Wirkung des Zwerchfells und der Bauchmuskeln erfolgen. Denn ein solches Zwerchfell ist bei den Vögeln nicht vorhanden, sondern nur ein Rudiment desselben, das den Namen des Lungenmuskels führt. Die Lunge der Vögel hängt nicht wie bei den Säugethieren frei in der Lufthöhle, sondern ist an den Brustwirbeln und den Rippen an beiden Seiten derselben mittelst kurzen Zellgewebes befestiget und so genau anliegend, daß ihre anliegende Fläche mit allen den Erhöhungen und Vertiefungen jener Wirbel und Rippen, wie in einem Abgusse, versehen ist. Diese Lunge ist übrigens in

Verhältniß zu jener der Säugethiere nur klein und wenig dick, und der Rückentheil, an welchem sie anliegt, ist während des Ein- und Ausathmens so unbeweglich, daß schon hieraus die Unfähigkeit dieser Lungen zu ähnlichen Bewegungen wie bei den Säugethiere hervorgeht. Gewöhnlich schreibt man die Ausdehnung dieser Lunge für die Inspiration der Wirkung des Lungenmuskels zu ¹⁾: wir müssen daher die Wirkungsart dieses Muskels näher zu bestimmen suchen.

§. 79.

Der Lungenmuskel entspringt in vier bis fünf Portionen (beim Adler vier), welche eben so viele kleine Muskeln oder Muskelstreifen darstellen, von dem unteren Ende der dritten, vierten und fünften Rippe, unmittelbar über der Einlenkung derselben mit ihren Rippenanhängen. Ihre Fasern bilden im Fortlaufen eine breite Aponeurose, die unter der Lungenfläche oder vielmehr an der anliegenden Wand des großen Luftsackes, der den größten Theil der Brust- und Bauchhöhle einnimmt, sich ausbreitet, indem sie mit dieser Wand verbunden ist, und am unteren Theil der Lunge, ohne in eine feste Verbindung mit ihren Häuten zu treten, an die

¹⁾ Selbst *Cuvier* führt unter den Organen, die bei der Inspiration wirken, die diaphragmenartige Wirkung dieses Lungenmuskels auf: *Leçons d'Anat. comp.* 2^e Éd. Tome 7, p. 204. Pour les poumons, des muscles qui ont relativement à ces viscères les mêmes fonctions que le diaphragme des mammifères, mais qui l'exercent avec beaucoup moins d'effet. Doch heißt es weiterhin pag. 206: Cependant l'aponeurose (de ce muscle) est très-peu mobile et en s'abaissant elle doit comprimer l'air des cellules qui sont au-delà. On ne peut donc pas comparer l'effet de ce rudiment de diaphragme costal, relativement au mécanisme de l'inspiration, avec celui des mammifères. Il faut plutôt l'étudier comme faisant partie d'un plan d'organisation, très-prononcé dans les mammifères, et qui tend à s'effacer dans les oiseaux.

Luftöffnungen geht, die zu den Luftsäcken führen, und sich an die in diese Öffnungen führenden Kanäle, sie unmittelbar an diesen Öffnungen umgebend, anhängt, endlich sich nach hinten bis zur Wirbelsäule fortsetzt, wo sie mit der Aponeurose von der anderen Seite zusammentrifft ¹⁾.

Die Wirkung dieses Muskels besteht also darin, daß er 1) mittelst der Spannung der Aponeurose auf die Wand des anliegenden Luftsackes drückt und diese während seiner Kontraktion von der unteren Lungenfläche etwas entfernt; 2) in seiner Wirkung auf die Öffnungen der Luftsäcke aus den Lungen. Mit der letzteren Wirkung steht die Einrichtung dieser Öffnungen selbst in Verbindung. Denn die Äste münden sich aus der Lunge in einer schiefen Richtung in die Luftsäcke, jede dieser Öffnungen ist in ihrer vorderen Hälfte mit einer vorliegenden dünnen Haut versehen, die wie eine Klappe wirkt, und die Öffnung, wenn nicht verschliessen, doch wenigstens stark verengern kann ²⁾. Von der anderen Seite sind die dünnen Häute der Luftbehälter an die Luftöffnungen, welche in sie einmünden, umgelegt, und hier mit vielen kleinen Öffnungen durchbohrt, durch welche die Luft aus den Bronchien-Ästen eindringt. Bei dieser Einrichtung ist es klar, daß mittelst einer geringen Verschiebung der Einmündung der Bronchien-Äste und der bezeichneten klappenartigen Häute eine mehr oder minder bedeutende Verschließung oder Verengerung dieser zu den Luftbehältern führenden Öffnungen bewirkt werden kann; und hierin

¹⁾ *Cuvier l. c. p. 205* : Son action (pour la dilatation des poumons) doit être très-bornée et particulièrement limitée aux canaux aériens qui s'ouvrent à la partie inférieure des poumons et à leurs orifices conduisant l'air dans les cellules, parce que l'aponeurose de ces muscles adhère particulièrement aux parois de ces canaux et près de leurs orifices.

²⁾ *Cuvier l. e. p. 213.*

besteht die eine Wirkung des Lungenmuskels. Der Zweck dieser Wirkung sowohl, als der ersten mittelst der Niederdrückung des anliegenden Luftsackes, wird deutlich werden, indem wir die Wirkungsart des Lungenmuskels, die durch seine Anheftungsweise an den Rippenenden gegeben ist, betrachten.

§. 80.

Wenn nämlich im Fluge des Vogels durch die Kontraktion des großen Brustmuskels der Niederschlag des Flügels erfolgt, so bewirkt die Reaktion dieses an dem hinteren Theile des Brustbeins und an der ganzen Länge des Brustbeinkammes befestigten Muskels einen kräftigen Gegenzug gegen das Brustbein von unten nach oben und von hinten nach vorn; wodurch sich das an die untere Kante des Schlüsselbeines eingelenkte, und mit seiner Spitze (Spina sternalis) nicht mit dem Winkel des Gabelknochens verbundene, Brustbein nach Art eines Blasebalgs hebt, indem sich die von vorn nach hinten immer längeren Rippenanhänge den Rippen nähern (§. 15). Diese Hebung des Brustbeinendes mit den Rippenanhängen kann, wenn das mittelst des Schlüsselbeins und des Schulterblattes am Rücken befestigte Brustbein sich nicht nach vorn verschieben kann, nur dadurch geschehen, daß bei dieser Hebung und durch dieselbe die Rippen selbst von vorn nach hinten von ihrem unteren Ende aus verschoben werden. Die Gröfse dieser Verschiebung steht mit der Länge der Rippenanhänge selbst im Verhältnisse ¹⁾; sie nimmt daher von vorn nach hinten zu, da die

¹⁾ Sie verhält sich wie der Quersinus des Winkels, um welchen sich der Rippenanhang den Rippen nähert, und wie die Länge des Rippenanhangs; ist dieser Winkel $= \alpha$ und die Länge des Rippenanhangs $= l$; so ist die Gröfse dieser Verschiebung am unteren Ende der Rippe bei ihrer Einlenkung in den Rippenanhang $= l(1 - \cos \alpha)$, und die Gröfse der Hebung des Brustbeins bei diesem Winkel $= l \sin \alpha$. Bei der tiefsten Lage des Brustbeins ist der Winkel der

Länge der Rippenanhänge sich von hinten nach vorn immer vermindert. Nun sind aber die Portionen des Lungenmuskels an den mittleren und hinteren Rippen an ihrem unteren Ende befestigt; folglich werden mit diesen Rippenenden auch diese Muskelstreifen mit ihrer Aponeurose nach hinten gezogen, oder ihre Kontraktion muß mit dieser durch die Reaktion des großen Brustmuskels bewirkten energischen Hebung des Brustbeins gleichzeitig zusammenfallen. Durch diese Hebung wird aber eine bedeutende und zwar, rücksichtlich der kurzen Zeit des Flügelniederschlags, beinahe augenblickliche Verengerung der Brust- und Bauchhöhle, und dadurch Zusammenpressung der Luftbehälter bewirkt. Die Durchströmung dieser plötzlich zusammengepressten Luft in die Luftkanäle der Lunge bei freier Öffnung der Mündungen, die sie mit den Luftbehältern verbinden, würde, abgesehen von der störenden Einwirkung, die sie auf die Gefäße dieses Organes haben könnte, bei weitem den größten Theil der in den Luftsäcken enthaltenen Luft wieder in die Luftröhre zurückführen, so daß sie für die eigentliche Respiration verloren wäre. Es war daher nothwendig, daß diese Mündungen gleichzeitig mit dieser Zusammenpressung und zwar nur für die Dauer derselben zum Theil verschlossen werden, damit die gepresste Luft, durch die verengte Öffnung ausströmend, mit im Verhältnisse dieser Verengerung verminderter Pressung und Geschwindigkeit in die jenseitigen Kanäle eintrete, wie dieses mechanischen Gesetzen gemäß ist.

Rippen mit den Rippenanhängen in der Regel ein rechter; bei der höchsten Erhebung des Brustbeins beträgt er noch 60° bis 65° ; folglich ist $\alpha = 25^\circ$ bis 30° ; nimmt man $\alpha = 25^\circ$ und $l = \frac{5}{4}'' = 15'''$, wie beim Adler, so ist $l(1 - \cos \alpha) = 1''' 41$. Um diese GröÙe wird daher das untere Ende der Rippe nach rückwärts bewegt. Die Hebung des Brustbeins beträgt dabei $6\frac{1}{3}'''$.

In Folge dieser partiellen Verschließung, durch welche die Luftsäcke während ihrer Dauer mit gepresster Luft gefüllt erhalten werden, würde sich jedoch nothwendig die Wand des in der Brust befindlichen Luftbehälters, welche mit der Aponeurose des Lungenmuskels verbunden ist, vermöge der überwiegenden Elastizität der eingeschlossenen Luft an die untere oder freie Lungenfläche anlegen und auf dieselbe einen momentanen Druck ausüben, der nur eine schädliche Wirkung, besonders auf die Zusammendrückung der zahlreichen Blutgefäße haben könnte und Hämorrhagien veranlassen müßte. Die zweite gleichzeitige Funktion der Aponeurose des Lungenmuskels besteht daher darin, die Wand dieses Luftsackes während der kurzen Dauer der Verengerung der Mündungen der Luftbehälter mittelst ihrer Spannung von der Lungenfläche entfernt zu halten. Für den ähnlichen Zweck sind auch die Leber, das Herz, der Darmkanal mit häutigen Umgebungen versehen, die mit keinem Lufloche in Verbindung stehen, sondern nur zu ihrem Schutze gegen die gepresste Luft dienen.

Die Wirkung dieses Muskels ist daher mit der Reaktion des großen Brustmuskels, die jene plötzliche Luftpressung bewirkt, völlig gleichzeitig, überdem auch, wie aus dem Obigen erhellet, der Stärke dieser Pressung völlig proportional, so daß die Verengerung der Mündungen und der Druck auf die Wand des Luftbehälters geringer oder größer ist, je nachdem die durch die Hebung des Brustbeins bewirkte Pressung kleiner oder größer ist. Das Rudiment des Zwerchfells bei den Vögeln hat daher eine andere, wenn gleich entfernt analoge, Bestimmung als bei den Säugthieren erhalten, wie das auch bei mehreren anderen, besonders Armmuskeln, der Fall ist, denen andere Funktionen zugewiesen sind, als den analogen Muskeln der Säugthiere, weil die zunächst zu erreichenden Zwecke verschieden sind.

§. 81.

Ungeachtet dieser mechanischen, nur von der Energie des Flügelschlages abhängenden Wirkung des Brustbeins hat es übrigens der Vogel in seiner Gewalt, die Verengerung der Mündungen der Luftsäcke in die Bronchien nach Belieben zu reguliren. Denn dieselbe findet, wie aus dem Vorigen erhellet, in dem vollen, der Hebung des Brustbeins selbst entsprechenden, Grade nur bei der festen Lage des Schulterblattes Statt. Da sich nun dieses vermöge einer geringen Nachlassung der dasselbe mit den Rippen verbindenden Muskeln, vorzüglich des großen Sägemuskels, ein wenig nach vorn bewegen kann; so wird dadurch auch dem Brustbeine selbst eine geringe Bewegung nach vorn gestattet, und sonach um die Größe dieser Bewegung jene der Bewegung der Rippen nach hinten, und in dem Maße auch die Bewegung der Aponeurose des Lungenmuskels vermindert. Der Vogel kann daher bei der Hebung des Brustbeins, geschehe diese nun durch die Reaktion des großen Brustmuskels oder durch den geraden Bauchmuskeln, die Anziehung der Aponeurose des Lungenmuskels in jedem beliebigem Grade reguliren, folglich auch die Verengerung der Mündungen der Luftsäcke, so daß er nöthigenfalls auch die Luft bei starker Pressung freier oder in größerer Menge ausströmen lassen kann. Diefs scheint hauptsächlich der Fall zu seyn, wenn er im Fluge seine starke Stimme erschallen läßt.

§. 82.

Aber so wie die Natur in ihren bewunderungswürdigen Einrichtungen, die zunächst nur auf Einen Zweck gerichtet zu seyn scheinen, in der Regel nebenbei auch noch andere Zwecke erreicht, so ist diels auch hier der Fall. Durch die während des Niederschlages des Flügels vermöge der Kontraktion des großen Brustmuskels bewirkte Hebung des Brustbeins und die daraus folgende Zusammenpressung der Luftbehälter wird die Aktion der für den

Flug wesentlichsten Muskeln, welche das Oberarmbein bewegen, verstärkt. Denn diese Muskeln sind, wie oben erwähnt, von den Luftbehältern umgeben, die während des Moments des Niederschlages auf sie drücken, und zwar im Verhältniß der Stärke oder Energie dieses Niederschlages. Die Muskeln bedürfen aber überhaupt zu ihrer kräftigen Kontraktion eines äußeren Druckes, der gewissermaßen einen Stützpunkt für diese Kontraktion bildet, indem er der Ausdehnung des Muskels, nach der Breite oder Quere (der Inturgeszenz) Grenzen setzt, und dadurch die Fasern zwingt, in der der Mittelkraft, d. i. der Resultante aller schief gegen die Sehne wirkenden Zugkräfte, nächsten Linie die Verkürzung der Längendimension zu bewirken. In den höheren Luftregionen würden daher bei dem bedeutend verminderten Luftdrucke diese Muskeln einen ansehnlichen Theil ihrer Kraft verlieren ¹⁾.

Die Erscheinung, daß Reisende bei Ersteigung sehr hoher Berge in der verdünnten Luft von einer außerordentlichen Müdigkeit befallen werden, die sich beim Niedersitzen alsogleich verliert, aber sogleich wieder eintritt, als man weiter geht, läßt sich aus dem von *Weber* nachgewiesenen Umstande, daß der Schenkelkopf in der Beckenpfanne durch den Luftdruck festgehalten wird, nur zum Theil erklären, da beim Ersteigen einer schiefen Ebene oder Treppe die pendelartigen Schwingungen des Beines nicht mehr in Betracht kommen, sondern die Anstrengung der Schenkel- und Wadenmuskeln nöthig ist, die, wenn ihre Turgeszenz durch die wegen Mangel des äußeren Druckes erfolgende Anschwellung der Blutgefäße die gewöhnliche Grenze überschreitet, nothwendig einen Theil ihrer Kraft verlieren, was eben nur empfunden wird, indem sie gebraucht werden. Bei den hohen Fliegern, wie den

¹⁾ Dieser Kraftverlust verhält sich wie das Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher der vergrößerten Turgeszenz entspricht.

Adlern und Falken, sind daher die Luftsäcke, welche die Muskeln des Schlüsselbeins und des Schulterblattes bis zu ihrer Insertion am Oberarm umgeben, groß und ausgebildet, dagegen nur klein bei den niedrigen Fliegern, wie den hühnerartigen Vögeln.

Die gespannten Luftbehälter der Brust- und Bauchhöhle drücken ferner gegen die mit der Sehnenhaut geschlossenen Rippen, und geben ihnen dadurch beim Niederschlage des Flügels mehr Festigkeit und Halt gegen die Reaktion des Schulterblattes sowohl als des Brustbeins, ohne welchen Druck von innen diese Wände der Brusthöhle nicht die nöthige Steifheit haben würden, um der Reaktion des energischen Flügelschlages zu widerstehen. Aus ähnlichem Grunde führt auch der Mensch die Hebung einer bedeutenden Last oder einen starken Schlag mit dem Arme nur mit gespannter Brusthöhle aus. Diese Verstärkung oder Vermehrung der Steifheit erhalten durch diesen inneren Luftdruck auch die pneumatischen Knochen, deren Wände daher verhältnißmäßig dünn, und bei einigen, wie beim Brustbein, so dünn sind, daß sie ohne diesen Druck von innen dem äußeren Drucke kaum würden widerstehen können. Daher sind die Wände dieser Knochengebilde mit Öffnungen versehen, in welche die Luft aus den Luftzellen bei ihrer Zusammenziehung eindringen und bei ihrer Dilatation austreten kann.

Die außer dem Bereich der Luftbehälter liegenden Muskeln des Flügelarms unterscheiden sich von den Muskeln des Rumpfes durch eine kompakte, sehnige Struktur (§. 33); sie liegen zumal am Vorderarm gedrängt an einander und sind mit sehnigen Häuten umgeben, die ihre Ausdehnung in die Breite beschränken. Bei den Raubvögeln sind diese Muskeln des Vorderarms zwischen Speiche und Elle größtentheils so zusammengedrängt, daß kaum Raum für die Ausdehnung in die Breite bleibt, und man Mühe hat, diese acht bis neun Muskeln gehörig aus einander zu sondern, während

bei den hühnerartigen Vögeln, selbst noch bei der Krähe, dieselben weit mehr entfaltet aus einander liegen.

Dieselbe Einrichtung ist auch bei den fliegenden Insekten vorhanden, deren Rumpf mit zahlreichen Luftzellen versehen ist, die auf die weichen, wenig sehnigen Muskeln drücken, wie *Chabrier*¹⁾ nachgewiesen hat.

§. 83.

Nach allem Vorhergehenden kann der Respirations-Mechanismus der Vögel wohl nur im Folgenden bestehen. Die Expansion und Dilatation der Lungen durch das Zwerchfell und die Bauchmuskeln, wie sie bei den Säugthieren Statt findet, ist bei den Lungen der Vögel nicht vorhanden. Dieses sichtbare Ein- und Ausathmen wird bei den Vögeln durch die Ausdehnung und Zusammenziehung der Luftsäcke oder Luftbehälter vertreten. Für die eigene Wirkung der Vögellunge an diesem Respirationsprozesse bleibt nur die eigene Kontraktibilität ihrer elastischen Luftkanäle, vorzüglich der tertiären, übrig, die zum Theil auch bei den Säugthieren Statt findet. Diese Kanäle haben, wie schon oben bemerkt, eine in die Augen fallende elastische Struktur; an den weiteren Bronchien-Ästen sind selbst zarte Muskelfasern vorhanden, die sich bei den dünneren Kanälen in ein faseriges Netz verlieren. So wie die Luftbehälter nach der oben bezeichneten Weise durch die Erweiterung der Brust- und Bauchhöhle sich ausdehnen, füllen sie sich aus der Luftröhre durch die in sie einmündenden weiteren sekundären Bronchien-Äste unmittelbar und schnell mit Luft. Diese durch die Ausdehnung der Luftsäcke erfolgende Inspiration wirkt zugleich auf die verschiedenen sekundären und tertiären Äste in doppelter Weise: 1) entsteht durch diese Ausdehnung der Luftsäcke ein Saugen an allen Öffnungen, mit denen sie

¹⁾ Sur le vol des Insectes, Mém. du Mus. d'hist nat. T. VI. p. 456.

mit der Lunge in Verbindung stehen, folglich auch an allen in diese Öffnungen einmündenden sekundären und tertiären Ästen oder Luftkanälen; 2) ist die Luft, indem sie bei der Inspiration die weiteren Bronchien-Äste auf ihrem Wege zu den Luftbehältern mit einer bedeutenden Geschwindigkeit durchströmt, relativ verdünnt, und reißt daher, nach mechanischen Gesetzen, die in den respirierenden sekundären und tertiären Ästen enthaltene, bis dahin dichtere Luft, deren Menge gegen die Kapazität der Luftsäcke nur unbedeutend ist, mit sich fort, und führt sie zugleich mit in die Luftsäcke, indem dabei die Kanäle vermöge dieser Entleerung sich zusammenziehen. Durch diese vereinte Wirkung wird also während der kurzen Dauer der Inspiration die Luft aus den verschiedenen Kanälen entfernt, während diese unmittelbar darauf durch ihre Wiederausdehnung die erneuerte Luft der weiteren Bronchien aufnehmen.

Bei der Expiration, durch die Zusammendrückung und Entleerung der Luftsäcke, wird die in diesen erwärmte, noch unverdorbene, Luft durch das zwischen den Lungenöffnungen und den Bronchien liegende Röhrennetz der Lunge allmähig hindurch und in die Bronchien geführt, indem diese Öffnungen durch die Wirkung des Lungenmuskels partiell verschlossen werden, so daß sich die Luft durch diese Kanäle mit beliebig verminderter Geschwindigkeit bewegt. Bei dem Gesang oder Geschrei der Vögel ist im Besondern die Luftröhrenzelle (§. 74) wirksam, in welche sodann aus anderen weiter rückwärts liegenden Zellen, durch die eigene Kontraktionsfähigkeit derselben, oder auch durch die Hebung des Brustbeins mittelst des geraden Bauchmuskels die Luft unmittelbar eingetrieben wird, so daß während des Gesanges dieser Luftsack, der am Gabelknochen liegt, eine kropfähnliche Erhöhung bildet. Daß aber auch während dieses Vorgangs der Respirationsprozesses selbst ungestört durch die aus den komprimirten Luftbehältern in

das Röhrennetz eintretende Luft vor sich gehe, ist nach dem Vorigen für sich klar.

Die pneumatischen Knochen sind als eine Erweiterung der Luftzellen selbst anzusehen, mit denen sie in Verbindung stehen; denn bei der Ausdehnung dieser Behälter geben sie einen Theil ihrer Luft an diese ab, und nehmen bei ihrer Zusammendrückung wieder eine neue Portion auf.

§. 84.

Hieraus ergibt sich:

1) Dafs die Lunge der Vögel bei ihrem relativ geringen Umfange dennoch eine eben so grofse Hämatose bewirken kann, als eine bedeutend gröfsere nach Art der Säugthiere konstruirte Lunge, da der innere Respirationprozess in ununterbrochener Thätigkeit ist. Die Lunge der Vögel wirkt wegen der im Verhältnifs zu den weiteren Luftkanälen so bedeutenden Kapazität der Blutgefäfsse beiläufig eben so viel, wie eine Säugethierlunge, die bei der Inspiration dieselbe Luftmenge aufnimmt, als die Luftbehälter bei ihrer Ausdehnung aufnehmen. Diese gröfsere Thätigkeit der Lunge hängt mit der gröfseren animalischen Wärme zusammen, die den Vögeln gegen jene der Säugthiere eigen ist.

2) Dafs bei der allmäligen Entleerung der Luftsäcke der Vogel mittels der durch die Stimmritze mit stärkerer Pressung ausgetriebenen Luft, lang anhaltende Töne von sich geben kann, ohne dafs darum die eigentliche Respiration der Lunge still steht; oder dafs tauchende Vögel längere Zeit unter Wasser aushalten können, nämlich so lang bis ihre Luftbehälter entleert sind. Aus diesem Grunde hat wohl die Lunge der Vögel einige Ähnlichkeit mit jener der Amphibien.

3) Dafs, wenn ein Luftsack verletzt oder ein pneumatischer Knochen angebohrt wird, der Vogel nicht, oder nur kurze Strecken, fliegen kann, sowohl weil dadurch die Respiration, nämlich die

Zurückführung der Luft in die Bronchien unterbrochen, als auch der Druck der Luftsäcke auf die Muskeln und inneren Wände aufgehoben wird.

4) Dafs ein Vogel, wenn die Luftröhre unterbunden und das Oberarmbein mit einer Öffnung versehen ist (nach *Vroliks* und *Albers* Beobachtungen), durch diese Öffnung die Respiration fortsetzt, freilich gestört und krankhaft, weil er aus dieser Öffnung, durch welche sich die Luftbehälter füllen, auch die Luft austreiben mufs, folglich den Luftsäcken und der Lunge nur durch beschleunigte Inspiration neue Luft zugeführt werden kann, und der grösste Theil der in die Luftsäcke aufgenommenen Luft wieder ausgetrieben werden mufs, ohne mit der Lunge in Berührung zu kommen.

5) Dafs der Vogel auch in den höchsten Regionen immer nur eine dichtere Luft aus den Luftbehältern athmet, und seine Respiration daher durch diese äufsere Luftverdünnung nicht affizirt wird. Nur müssen dann für solche Vögel, die sehr hoch steigen, die Luftbehälter gröfser seyn, was auch der Fall ist.

§. 85.

Durch diese Einrichtung des Respirationssystemes hat daher die Natur für alle Bedürfnisse des Fluges der Vögel auch bis zu den höchsten Regionen gesorgt. Man sieht leicht, dafs auch die schnellste Bewegung vorwärts oder ein starker Wind gegen denselben die Respiration des Vogels nicht stören kann, da er durch die Schließung des Schnabels, die Verengerung der Stimmritze und die partielle Verschließung der Nasenlöcher mittelst der vorspringenden Haut, welche dieselben umgibt, jede gewaltsame Lufteinströmung mäßigen, so wie er selbst seine Augen mittelst der Nickhaut schützen kann. Ein vielleicht wichtiger Grund dieser Lungeneinrichtung liegt wohl auch in der Länge des Halses und der dadurch bedingten Länge der Luftröhre, die den Vögeln

eigen ist. Auch bei den kurzhalsigen Vögeln ist diese Länge jener des Rumpfes gleich, und beträgt bei den langhalsigen das Doppelte und darüber. Diese Länge des Halses ist theils durch die Lebensart der Vögel bedingt, theils ist sie ein wesentliches Hülfsmittel zur Regulirung ihres Schwerpunktes im Fluge; überdem dient diese Länge der Luftröhre zur Verstärkung der Stimme, worauf die Natur bei diesen Thieren, die für die Zwecke der Fortpflanzung oft nur dieses Mittel haben, um durch weite Lufträume und finstere Wälder sich aufzufinden, ein besonderes Augenmerk gerichtet zu haben scheint, da sie selbst bei mehreren Vögeln, wie beim Kranich, diese Luftröhre noch wunderbar verlängerte, indem sie dieselbe in dem ausgehöhlten und erweiterten Brustbeinkamm, einem Blaseinstrument ähnlich, in mehreren Windungen hin und her führte, bevor sie in die Brusthöhle zu der Lunge gelangt. Diese Luftröhre ist überdem verhältnißmäfsig weit; sie faßt daher eine bedeutende Menge Luft, und es würde schon eine bedeutend gröfsere Säugthierlunge, als in der Brusthöhle des Vogels nur immer Raum haben könnte, dazu gehören, um die verbrauchte Luft aus der Lunge durch die Luftröhre gehörig auszutreiben. Wäre z. B. die Kapazität der Lunge jener der Luftröhre gleich, so würde bei der Expiration diese gerade mit der verbrauchten Luft, die die früher darin enthaltene vor sich her treibt, gefüllt, und bei der unmittelbar folgenden Inspiration würde eben diese Luft wieder in die Lungen zurückkehren, daher die eigentliche Respiration nicht möglich seyn. Diesem Übelstande ist bei dem Respirationsmechanismus der Vögel vollkommen abgeholfen, und wir sehen daher auch, dafs gerade bei jenen Vögeln, welche mit den längsten und weitesten Luftröhren begabt sind, auch für die Ausbreitung der Luftbehälter vorzüglich gesorgt ist.

Muskeln des Schwanzes. §. 86.

Der Schwanz der Vögel bildet ein wichtiges zum vollständigen Fluge unentbehrliches Anhängsel des Rumpfes, indem er das Werkzeug ist, mittelst dessen der Vogel der Axe seines Körpers einen beliebigen Winkel mit der Horizontalebene gibt, entweder nach aufwärts oder nach abwärts, folglich sich im Fluge nach Belieben senkt oder steigt. Er wirkt ganz auf dieselbe Art, wie das Steuerruder eines Schiffes, nur daß dieses, in senkrechter Stellung gegen die Strömung wirkend, das Schiff in der Horizontalebene oder nach rechts oder links dreht, während der erstere, in horizontaler Lage wirkend, dem Körper die Richtung in der Vertikalebene oder nach auf- oder abwärts gibt.

Die Spulen der Schwanzfedern sind unter einander mit einer starken bandartigen Sehnenhaut verbunden, mittelst welcher sie an das Steifsbein, besonders an das platte Endstück desselben und an die an dasselbe inserirenden Muskeln befestigt sind. Diese Muskeln sind paarweise vorhanden, nämlich einer auf jeder Seite des Steifsbeins, sind kurz und fleischig, und wirken von dem hinteren Rande des Kreuz- und Schambeins aus auf die Regierung des Steifsbeins, an dessen Wirbel sie sich inseriren. Im Ganzen sind acht Paare solcher Muskeln vorhanden, von denen die einen den Schwanz heben, andere ihn niederziehen, die übrigen dazu dienen, die Schwanzfedern fächerartig auszubreiten, und zwar sowohl für die Hebung, als für die Senkung. Diese Hebung, Senkung und Ausbreitung des Schwanzes wird durch diese Muskeln, welche im Fluge immer paarweise wirken, im beliebigen Grade regulirt, so daß es der Vogel in seiner Gewalt hat, den Schwanz in jedem beliebigem Winkel mit der Horizontalebene des Körpers zu heben, zu senken und dabei beliebig, nämlich mehr oder weniger, auszubreiten. Die einseitige Wirkung dieser Muskeln,

wodurch nämlich nur die eine Hälfte des Schwanzes ausgebreitet, nach vorn gezogen, gesenkt oder gehoben wird, findet nur bei besonderen Bewegungen außerhalb des Fluges Statt, z. B. wenn der sitzende Vogel den Schwanz nach der einen Seite zieht, um mittelst des Schnabels die Federn zu ordnen oder zu ölen, niemals aber im Fluge, um etwa durch die schiefe Richtung des Schwanzes die Richtung des Fluges nach rechts oder links zu ändern, eine Meinung, die man immer noch von Physiologen angegeben findet, obgleich sie mit mechanischen Gesetzen sich nicht verträgt, und schon *Borelli* hierüber die völlig richtige Ansicht aufgestellt hat ¹⁾.

§. 87.

Ein Anhängsel des Rumpfes sind bei den Vögeln die sogenannten Öldrüsen, welche, doppelt vorhanden, dicht neben einander in herzförmiger Gestalt auf der oberen Fläche der Wurzel des Steißbeins liegen und von der Haut bedeckt sind. In denselben wird eine ölige Flüssigkeit abgesondert, die durch zwei besondere Ausführungsgänge abfließt. Der Vogel drückt mit dem Schnabel die ölige Flüssigkeit aus diesen Drüsen und beschmiert die Federn damit, indem er sie durch den benetzten Schnabel durchzieht. Es geschieht das vorzüglich mit den äußeren Schwungfedern und den Schwanzfedern. Die Federn werden dadurch nicht nur konservirt und ihre Bärte oder Fahnen geordnet, sondern auch

¹⁾ De motu animalium. Romae 1680. p. 1, p. 311. propos. 198. Usus caudae avium est, flectere cursus volantium sursum et deorsum, non vero ad dextrum et sinistram latus. Videmus quod Columbi, hirundines et accipitres, quando volantes cursum inflectunt horizontaliter ad dexteram vel ad sinistram, tum caudam non expandunt, nec flectunt sursum aut deorsum, sed directam eam retinent. Tandem truncata cauda columbi, sicut vespertiliones cauda carentes, commode per aërem torquentur et curvum volatum horizontalem efficiunt.

vor Nässe bewahrt. Letzteres ist hauptsächlich bei den Wasser- und Sumpfvögeln der Zweck, daher bei denselben auch die Öldrüsen am größten sind.

Zweites Kapitel.

Die äußere Gestalt des Vogels.

I.

Die Gestalt des Flügels.

§. 88.

Auf den Knochen des Armes sind, theils recht-, theils schiefwinklig, die Federn aufgelegt, welche, indem sie von innen nach außen über einander greifen und sich decken, von innen nach außen an Länge, Stärke und Elastizität zunehmend, eine elastische Fläche des Flügels bilden, wie sie bei den fliegenden Insekten durch die zwischen feinen Ästen ausgespannte Membran, oder bei der Fledermaus durch eine sehnige Haut gegeben ist.

Der Flügel theilt sich der Länge nach in drei Regionen: 1) der *Deckfittich*, welcher unmittelbar am Leibe oder Rumpfe des Vogels liegt, dessen Federn, die sogenannten *Schulterfedern*, auf der die Muskeln des Oberarms umkleidenden Haut liegen, und durch die hintere Flügelhaut in ihrer Lage erhalten werden (§. 68); 2) den *Fächer*, welcher aus den Federn besteht, die auf der Elle des Vorderarms liegen, und von den Ornithologen gewöhnlich *Schwungfedern* der zweiten Ordnung genannt werden; 3) die *Schwinge*, welche aus den Federn besteht, die, nach außen zu immer mehr schiefwinklig, auf die Mittelhand und ihre Finger aufgelegt sind, und gewöhnlich als *Schwungfedern* der ersten Ordnung, von uns aber ausschließlich als *Schwungfedern* (Federn der Schwinge) bezeichnet werden. Die vordere Region der Flü-

gelfläche, wo diese Federn mit ihren Kielen auf den Armknochen liegen, ist mit kürzeren über einander liegenden Federn bedeckt, welche *Deckfedern* heißen, und sowohl zur Verschließung der Öffnungen dienen, welche die Kiele jener Federn zwischen sich lassen, als auch zur Verstärkung der Auflage der letzteren selbst. An dem Daumenknochen sind drei bis vier kürzere, in der Länge abnehmende, ziemlich steife und gekrümmte Federn befestigt, die einen kleinen mit dem Daumenknochen nach vor- und rückwärts beweglichen Fittich bilden, welcher seiner Bestimmung nach am besten als *Lenkfittich* bezeichnet wird, übrigens auch *Asterflügel* genannt wird.

§. 89.

Die Federn sind als Bestandtheile zur Bildung einer elastischen, der Luft undurchdringlichen Fläche sehr vollkommen eingerichtet. Jede Feder besteht aus dem *Kiel* und der *Fahne*. Der Kiel, welcher den festen elastischen Stamm bildet, an dessen äußerem Theile zu beiden Seiten die Fahne anliegt, theilt sich in die *Spule* und den *Schaft*. Die Spule ist der zylindrische, aus hornartiger Substanz gebildete Theil, mit welchem die Feder in dem Flügel befestigt ist; von dem Ende dieser Röhre beginnt der Schaft, indem die Substanz derselben an der äußeren Fläche bis zur Spitze des Kiels fortläuft und eine weißse markige Substanz bedeckt, welche die Masse des im Querschnitte ein Viereck bildenden Schaftes ausmacht, dessen übrige Seiten gleichfalls mit der hornartigen Substanz überzogen sind. Die untere Seite ist in der Mitte der Länge nach mit einer Rinne durchzogen, welche zwei mit den beiden Seitenwänden verbundene Ränder oder Leisten bildet, durch deren Gegenwirkung gegen die obere elastische Decke des Schaftes die Biegung des letzteren nach ab- und aufwärts gesichert wird, ohne daß ein Einknicken Statt haben kann. Die Dicke des viereckigen Schaftes nimmt von innen nach außen ab,

und läuft am äußersten Ende spitzig zu. An beiden Seiten des Schaftes und unmittelbar an seiner oberen, von der Spule auslaufenden Decke ist die Fahne angesetzt, welche aus zwei Bärten besteht, den einen rechts, den andern links vom Schaft. Dieser Bart besteht aus einzelnen, nahe an einander liegenden kleineren Federn, welche Strahlen genannt werden. Ein solcher Strahl besteht aus einem elastischen Blättchen, von demselben Stoffe als Spule und Schaftdecken, an dessen oberen Kanten, auf ähnliche Art, wie an dem Schaft, zwei sekundäre Bärte, aus feinen sekundären, nahe an einander liegenden Strahlen gebildet, seiner ganzen Länge nach befindlich sind. Das Blättchen ist unten, wo es an dem großen Schaft sitzt, am breitesten, und die Breite nimmt ab, bis es sich in eine Spitze verliert.

§. 90.

Fig 7. Die Figur 7 zeigt vier solcher an einander liegenden Strahlen, im Durchschnitte senkrecht auf die Länge der Strahlen, in Vergrößerung, wovon die Seite *o* in der oberen, und die Seite *u* in der unteren Fläche der Fahne liegt. Der sekundäre Bart *a* sitzt am oberen Rande des Blättchens und liegt an der Seite des Strahls, welche gegen die Spitze der Feder gerichtet ist; er besteht aus kurzen, starken, sekundären Strahlen, die wieder mit dicht anliegenden tertiären Strahlen besetzt sind, von denen diejenigen, die zunächst an der Wurzel liegen, am Ende etwas häkchenförmig gekrümmt sind. Der sekundäre Bart *b*, welcher an der der Spule der Feder zugekehrten Seite liegt, entspringt ziemlich weit unter dem Strahle *a*, und ist nach aufwärts gerichtet, während der Strahl *b* etwas nach abwärts steht, wie die Figur zeigt. Die sekundären Strahlen *b* bestehen ebenfalls aus Blättchen, welche mit tertiären, jedoch feineren und weicheren Strahlen besetzt sind, und sich in feine Haare endigen, oder ihre Spitzen in Gestalt feiner Haare fortsetzen, deren Länge beiläufig der Länge der Blättchen

selbst gleich ist. Diese Strahlen b liegen näher an einander als die vorigen. Die Strahlen beider sekundären Bärte sind an das Blättchen oder den sekundären Schaft unter spitzen Winkeln eingefügt, wie bei den primären Bärten. Bei dem sekundären Barte a liegen daher die feinen Haare am Rande des Bartes an und über einander, und bilden hier gewissermaßen einen wollenartigen Saum, in welchen die oben erwähnten häkchenförmigen tertiären Strahlen des Bartes b eingreifen.

Die Blättchen der Strahlen selbst sind gekrümmt, wie die Figur zeigt, so daß die konkave Fläche gegen die Spitze der Feder gerichtet ist. Die Krümmung ist nahe kreisförmig, nur ist das untere Ende etwas mehr einwärts gebogen. Sie stehen bei den starken Fahnenbärten in der drei- bis vierfachen Dicke der Blättchen selbst von einander entfernt; bei den schwächeren, zumal den gegen die Spule zu laufenden Bärten liegen sie weiter aus einander. Unmittelbar unter dem sekundären Barte a und in dem Winkel m , welchen die untere Fläche desselben mit dem Blättchen des Strahles macht, befindet sich noch ein Bart von feinen Haaren derselben Art, mit welchen die Spitzen der sekundären Strahlen b endigen, und welche auf dieselbe Weise über einander liegen, und diesen Winkel sonach mit einer Art wollenartigen Wulstes ausfüllen, den man als einen Afterbart bezeichnen kann. In diesem Winkel endigen sich die Spitzen der Strahlen des sekundären Bartes b .

Werden nun die Blättchen der Strahlen einander genähert, wie sie durch die Elastizität der steifen und breiten Wurzel, mit welcher sie an dem primären Schafte festsitzen, zu thun streben, indem sie sich an einander legen, so greifen die feinen Haarspitzen des sekundären Bartes b in die feinen Haare des Afterbartes m , und hängen an einander, indem sie sich verschiedentlich durchkreuzen und gleichsam verfilzen, da die Natur dieser feinen Haare jener der feinen Wollenhaare analog ist. Der sekundäre Bart a

bildet eine steife Decke, welche das Ausweichen der Bartspitzen *b* nach oben hindert, um so mehr, als seine tertiären Strahlen in jene des sekundären Bartes *b* eingreifen, so daß durch die vermöge der Elastizität der Blättchen bewirkte Näherung das Ineinandergreifen der Haare befördert wird. Es ist sonach eine bedeutende Gewalt nöthig, um die so verfilzten Haare zu trennen; bei der Trennung reißen mehrere der verfilzten Spitzen ab; bei der abermaligen Näherung vereinigen sie sich jedoch leicht auf die vorige Art wieder.

Beim Niederschlage des Flügels werden durch den Druck der Luft von unten auf die an ihrem unteren Ende nach auswärts gebogenen Blättchen der Strahlen (s. die Figur) diese selbst mehr gekrümmt, wodurch sich die Bärte *a* und *b* noch fester über einander legen und mit ihren wollenartigen Spitzen in einander schieben. Dieser Erfolg steht im Verhältnisse mit der Gröfse des Luftdruckes, und die Natur hat auf diese Art das Problem gelöst, aus so schwachen, zarten und beweglichen Elementen eine gegen die anprallende Luft so feste Fläche zu bilden. Wären die Blättchen der Strahlen geradflächig oder eben, so würde der erwähnte Erfolg nicht in der Art Statt finden können, vielmehr durch die Luft ein Auseinandertreiben oder ein Biegen nach der entgegengesetzten Seite erfolgen, wodurch die Entfernung der beiden Bärte von einander bewirkt, folglich ihr Ineinandergreifen geschwächt würde.

§. 91.

Die beiden Bärte der Fahne beginnen am Anfange des Schafes mit Flaumfedern, an die sich die Strahlen lockerer und mehr von einander entfernt anschliessen, bis sie etwas weiter hinaus ihren gehörigen Zusammenhang erhalten. Derjenige Bart der Feder, welcher seine Richtung gegen die Flügelspitze hat, ist weniger breit als der andere, und seine Strahlen sind stärker als die

des letzteren. Der schmale Bart bildet die Decke für den breiten Bart der nächst vorhergehenden Feder, indem er sich seiner Länge nach über denselben legt, und demnach sein Ausweichen nach oben hindert. Bei vielen Vögeln befindet sich an den fünf bis sechs ersten Schwungfedern am äußeren Theile der Fahne sowohl an der schmalen als breiten Seite ein Ausschnitt, von dem später die Rede seyn wird. Die Strahlen sind an den Schaft unter einem spitzen Winkel, mit der Richtung nach der Spitze zu, eingesetzt, welcher für die breiteren Bärte etwa 40° beträgt. Bei den schmalen Bärten der Schwungfedern, welche mit Gewalt die Luft zu durchschneiden haben, beträgt dieser Winkel nur 20° ; die Strahlen liegen dadurch in der Art auf einander, daß mehr ihre Seite als ihre Spitze nach vorn liegt, sie daher durch den Luftdruck bei der Vorwärtsbewegung an einander gedrückt werden. Diese schmalen Bärte laufen nach vorn in einer feinen Schneide aus, und sind etwas abwärts gebogen, was auch bei dem breiten Barte der Fall ist, wie die Fig. 8 zeigt, welche den Querschnitt einer Schwungfeder an ihrem Ausschnitte darstellt.

§. 92.

Die Fig. 9 gibt die Zeichnung einer Fächerfeder, Fig. 10 eine Schwungfeder mit Ausschnitt (beide vom Adler), die Fig. 11 eine Schwungfeder ohne Ausschnitt, in der Ansicht von oben; die Fig. 12 zeigt die Schwungfeder (Fig. 10) in der Ansicht von der Seite, welche die Krümmung des Kieles zeigt. Aufser dieser Krümmung, von oben nach unten, welche besonders gegen die Spitze stark ist, da hier der größte Luftdruck im Niederschlage Statt findet, hat die Schwungfeder (Fig. 10) auch eine Krümmung seitwärts (von vorn nach hinten), weil beim Niederschlage der nach vorn wirkende Luftdruck den Kiel der Feder dann in die gerade Linie streckt, in welcher sie am vortheilhaftesten wirkt. Dieselbe Biegung des Kieles seitwärts, nach innen oder gegen den

Fig. 9. Deckfittich zu, haben auch die Fächerfedern, wie Fig. 9, weil beim Niederschlage des Flügels vermöge der Centrifugalbewegung der Luft die Fächerfedern nach aussen getrieben, folglich während dieses Niederschlages geradlinig werden, indem sie sich dabei zugleich fester an einander legen. Auch die Kiele der Fächerfedern sind in der Vertikalebene gekrümmt, jedoch schwächer als die Schwungfedern, da die Kraft, welche sie aufwärts zu biegen strebt, verhältnißmässig geringer ist.

§. 93.

Fig. 13. Die Fig. 13 stellt die obere Fläche des rechten Flügels eines Taubenhabichts vor, dessen vordere obere Seite von den Deckfedern entblößt ist, um die Auflage der Federn des Fächers und der Schwinge zu zeigen. Die Federn des Fächers *bb* liegen mit der Spitze ihrer Spule auf der Elle des Vorderarms, und werden durch eine sehnige Duplikatur der Haut *a* unter einander verbunden, welche zwischen denselben ausgespannt ist, und den dritten Theil bis zur Hälfte einer jeden Spule in Form einer Scheide umschliesst. Diese Haut wird bei der Streckung des Flügels durch die lange Sehne des Antagonisten des Mittelhandstreckers (§. 54), an welcher sie unmittelbar anliegt, gespannt, von dem aus an jede Scheide (etwa bis zu ihrer Mitte) eine kleine Sehne geht, die zum Niederziehen und Festhalten der Feder wirkt. Durch die Spannung der Haut werden die Fächerfedern aus einander gezogen oder der Fächer entfaltet; zieht sich dieselbe zusammen, was immer beim Einziehen des Flügels der Fall ist, so schieben sich die Fächerfedern über einander; und durch die Sehnen des diese Federn dirigirenden Muskels hat es der Vogel immer in der Gewalt, der Fläche des Fächers die gehörige Richtung mit der Fläche der Schwinge zu geben, um so mehr, als die sehnige Haut, welche die Fächerfedern verbindet, sich an diejenige fortsetzt, welche auf ähnliche Art die Federn der Schwinge zusammenhält, so dass

schon dadurch beide Flügeltheile in derselben Ebene erhalten werden.

Nach der vierten Feder des Fächers, von der Schwinge aus, zeigt sich ein größerer Zwischenraum *c*, als zwischen den übrigen in gleicher Entfernung von einander aufliegenden Spulen. In der Mitte dieses Raumes geht von dem Muskel eine stärkere Sehne aufwärts an den Ellenknochen, welche dahin wirkt, die die Spulen verbindende Haut nach vorwärts zu ziehen und dadurch die an dieser Haut befestigten Spulen niederwärts zu halten. Diese Einrichtung findet sich bei allen Falkenarten, fehlt aber bei den Krähen.

Die Fächerfedern werden, wegen der geneigten Lage des Vorderarms, gegen den Oberarm hin kürzer, wo die letzten vor dem Oberarmknorren aufliegen, und sich mit den Federn des Deckfittichs verbinden, der die innere Fläche des Flügels schließt. Nur diejenigen Federn, welche mit ihrer Spule unmittelbar auf der Elle des Vorderarms aufliegen, können als zum Fächer gehörig angesehen werden, und einige kleinere, die schon am Oberarmknorren liegen, gehören dem Deckfittich an, indem sie den Übergang zum letzteren bilden.

§. 94.

Die Zahl der Fächerfedern variirt bei den größeren Vögeln, und zwar von 25 (dem Pelikan, *P. onocrot.*) bis zu 10 (den Krähen). Diese Variation hängt nicht immer ab von dem Verhältnisse der Länge des Vorderarmes zum Oberarm, denn der Flügel des Geiers, bei welchem jenes Verhältniß nahe dasselbe mit den Krähen ist, hat deren 19—20; auch nicht immer von der absoluten Länge des Vorderarms, denn die Gänse und hühnerartigen Vögel haben bei derselben Länge dieses Armknochens eine bedeutend größere Zahl von Fächerfedern, als die Falken; eben so wenig von der Länge des Flügels, denn das Auerwaldhuhn z. B., das im Verhältniß des Gewichtes nur wenig mehr als die halbe Flügel-

länge des Adlers hat, hat beinahe doppelt so viel Fächerfedern als der letztere. Bei den Falken und Boussarden ist die Zahl dieser Federn in der Regel 12. Diese Zahl findet sich auch noch beim Adler, bei welchem die Breite der äusseren Fächerfeder, nämlich der Querschnitt ihrer Fahne, drei Zoll beträgt, wobei der schmale Bart eine Breite von $\frac{3}{4}$ Zoll, und der einzelne Strahl desselben eine Länge von $\frac{5}{4}$ hat. Diese Breite wird auch beim Seeadler, dem Geieradler und dem Geier nicht überschritten. Nun wird die Steifheit und Elastizität der Flügeldecke hauptsächlich durch die Steifheit des schmalen Bartes bewirkt, der sich auf den breiten Bart der vorhergehenden Feder überlegt, welche Steifheit bei derselben Stärke des Kiels und des von ihm entspringenden Strahlenblättchens mit der Länge des letzteren abnimmt; über eine gewisse Grenze hinaus würde daher dieser Bart zu schwach, wenn anders der Kiel nicht in einem grösseren Verhältnisse verstärkt würde, wodurch dann die ganze Flügel-Konstruktion ein grösseres Gewicht erhalten müßte. Zur Vermeidung dieses Nachtheils hat die Natur vorgezogen, in jenen Fällen, in denen eine grössere Steifheit des Flügels nöthig war, eine gewisse Breite der Fächerfeder nicht zu überschreiten, dagegen die Zahl der Fächerfedern zu vermehren, die sich dann bei der verringerten Breite des schmalen Bartes und der vermehrten Menge der steifen Kiele zu einer festen Fläche an einander legen. Bei Vögeln, bei welchen die Fächerfedern gleiche Breite haben, oder sich der grössten Breite nähern, verhält sich daher auch die Zahl der Fächerfedern wie die absolute Länge des Vorderarms. Diese Länge ist z. B. beim Adler 8", beim Geier 13"; die Zahl der Fächerfedern bei ersterem 12, bei letzterem 19 bis 20; es verhält sich aber $8:13 = 12:19\frac{1}{3}$.

Aus diesem Grunde sehen wir bei jenen Vögeln, die gegen das Gewicht ihres Körpers mit verhältnissmässig grossen Flügeln ausgestattet sind, die geringere Zahl der Fächerfedern, im Ver-

gleiche mit jenen, die mit verhältnißmäfsig kurzen Flügeln einen schweren Körper fortzuschaffen haben, daher für die kräftigen Flügelschläge eines steifen Flügels bedürfen. Ein gutes Bild eines solchen Flügels gibt der Flügel der Saatgans, dessen Fächer 18 Federn hat, und eine grofse Steifheit und Elastizität besitzt (Fig. 18). Fig. 18. Daher haben auch jene Vögel, welche sehr schmale Flügel (mit kurzen Fächerfedern) besitzen, und für ihre schnellen Wendungen schneller und heftiger Flügelschläge bedürfen, wie die Seeschwalben, eine gröfsere Zahl von Fächerfedern. Endlich ist aus demselben Grunde bei den kleinen Vögeln, wie den Finken, die Zahl der Fächerfedern nur gering, gewöhnlich 8, da diese kleinen und kurzen Federn auch bei verhältnißmäfsig gröfserer Flügelfläche noch die nöthige Elastizität behalten.

§. 95.

Die Federn der Schwinge sind konstant in der Zahl, nämlich 10 bei allen Fliegern. Davon liegen 6 auf den Knochen der Mittelhand, 1 auf dem kleinen Finger, der den Winkel zwischen der Mittelhand und dem ersten Gliede des grofsen Fingers ausfüllt, 2 auf dem Knochen dieses ersten Gliedes, und 1, oder die Lenkfeder, auf dem zweiten Gliede dieses Fingers. Die Spulen dieser Federn liegen, aufser ihrer Befestigung an dem Knochen, unter einander in der elastischen und sehnigen Hautduplikatur verbunden, welche, wie Figur 13 zeigt, eine unterbrochene Fort- Fig. 13. setzung der die Fächerfedern verbindenden Haut ist, nur ist diese Verbindung hier stärker, und das Ende der Haut bildet einen sehnartigen, die Spulen umgebenden Umschlag. Auf die Federn des Mittelhandknochens und die sie verbindende Haut wirken ebenfalls, wie vorher bei dem Fächer, einzelne von dem Antagonisten des Streckers des grofsen Fingers auslaufende Sehnen, die ihre Nieder- und Festhaltung befördern. Die Fig. 14 zeigt die Mittel- Fig. 14. hand und den Finger mit den auf ihr liegenden Spulen von der

unteren Flügelfläche. *aa* sind die 6 Schwungfedern, die auf der Mittelhand aufliegen; *b* die vierte Schwungfeder auf dem Knochen des kleinen Fingers *c*, der mit dem Knochen des ersten Gliedes des grossen Fingers durch ein Band verbunden ist; *dd* die beiden Schwungfedern auf dem letzteren Knochen; *e* die erste Schwung- oder Lenkfeder, deren Spule in die Höhlung des Knochens des zweiten Gliedes *f* des grossen Fingers eingelegt ist.

Bei der Streckung des grossen Fingers breiten sich die 5 bis 6 ersten Schwungfedern aus einander nach vorwärts; bei seiner Beugung schieben sie sich unter einander nach rückwärts, so daß die Enden der Fahnen sich decken; bei der Beugung der Mittelhand und bleibender Streckung des grossen Fingers bleiben die äusseren Schwungfedern ausgebreitet, die Schwinge schiebt sich aber zum Theil unter den Fächer, wodurch der Flügel verkürzt wird. Wird der Flügel endlich ganz eingezogen, nämlich durch Anziehung des Oberarms, des Vorderarms und der Hand, so schiebt sich die Schwinge unter den Fächer und der Fächer unter den Deckfittich, der dann als ein Theil des befiederten Körpers erscheint. Bei der gleichzeitigen Beugung der Mittelhand und des Fingers schieben sich alle Schwungfedern zusammen und mehr und weniger unter den Fächer, wodurch der Flügel noch mehr verkürzt wird, und seine Schwinge mit der Richtung der Flügellinie einen geringeren Winkel macht. Die auf dem zweiten Gliede des grossen Fingers befestigte Lenkfeder ist mit dem letzteren selbst für sich nach vor- und rückwärts beweglich. Die Biegung der Schwung- und Fächerfedern nach unten gibt der unteren Flügelfläche eine nach aufsen und hinten gewölbte Form.

Die Federn des Fächers und der Schwinge sind vermöge der sie verbindenden sehnigen Haut in der Horizontalebene des Flügels um ihren Befestigungspunkt an den Knochen beweglich, jedoch immer weniger nach aufsen oder zur letzten Schwungfeder, wo-

durch die so eben erwähnten Verschiebungen dieser Federn möglich werden. Bei der vollen Streckung des Flügels liegen die dem Oberarm näheren Fächerfedern nahe in einem rechten Winkel auf dem Vorderarm auf, der gegen die Schwinge zu immer spitziger wird, so daß sich in Bezug auf die Richtung des Vorderarms gegen die Mittelhand die letzte Fächerfeder an die erste Schwungfeder deckend anschließt.

§. 96.

Der Lenkfittich, von dem die vorderste oder größte Feder in der Fig. 13, 14 zu sehen ist, ist an dem Daumenkno-^{Fig. 13 und 14.}chen befestigt. Er besteht aus 3 bis 4 bedeutend, sowohl nach der Länge als der Breite, gekrümmten Federn, die mit abnehmender Länge hinter einander liegen, und mittelst der bandartigen Haut, welche sie verbindet, bei der Bewegung der ersten Feder, welche unmittelbar am Daumenknochen sitzt, nach vorn ausgebreitet, und bei der Bewegung rückwärts unter einander geschoben werden. Vermöge ihrer gekrümmten Form bilden sie bei der Streckung des Daumens, die nach vor- und abwärts geht, einen gewölbten, nach abwärts gerichteten Fittich, dessen Projektionsfläche einen Winkel mit der Flügelebene macht; bei der Einziehung oder Beugung des Daumens legt sich dieser Fittich über den vorderen Flügelrand, so daß die erste Feder mit dem letzteren zusammenfällt.

§. 97.

Der vordere Theil des Flügels, den die Spulen einnehmen, ist sowohl von oben als von unten mit den Deckfedern verschlossen. Die ersten oder längeren Deckfedern des Fächers liegen, wie die Fig. 13 bei *e* zeigt, mit dem Ende ihrer Spule un-^{Fig. 13.}mittelbar neben der Spule der Fächerfeder und überkreuzen dann die letztere, indem sie mit ihr häutig verbunden sind. Die Spulen der Deckfedern der Schwinge liegen unmittelbar der Länge

nach auf den Spulen der Schwungfeder, mit denen sie gleichfalls häutig fest verbunden sind. Die Spulen dieser Federn sind viel stärker als jene der Deckfedern des Fächers, ja, im Verhältniß zur Länge ihrer Fahne noch stärker als die Spulen der Schwungfedern selbst, und verstärken daher bedeutend die Auflage der Schwungfedern. Die Länge dieser ersten Deckfedern, die übrigens jenen des Fächers analog geformt sind, ist bei verschiedenen Flügeln verschieden, je nachdem eine größere Steifheit dieser Fläche erfordert wird. Gewöhnlich macht ihre Länge $\frac{1}{3}$ bis zur Hälfte der Flügelbreite aus. Über diesen ersten Deckfedern liegen gewöhnlich noch zwei Reihen kürzerer, dann noch kleinere und kürzere, die am vorderen Flügelrande sehr klein werden und einen sammtartigen Wulst bilden. Die Enden aller dieser Federn sind mit Flaumfedern bedeckt, so daß eine vollkommen geschlossene Fläche erhalten wird. Übrigens nimmt die Stärke aller Federn des Flügels, der Fächerfeder, Schwungfeder und Deckfeder, von innen nach außen zu, sowohl durch die Stärke des Kiels, als die Stärke der Fahne, bis endlich in den äußersten Schwungfedern, auf welche beim Niederschlage des Flügels die größere dem Quadrate der Geschwindigkeit proportionale Kraft wirkt, das Maximum dieser Stärke auftritt. Die Deckfedern der unteren Flügelfläche sind im Ganzen bedeutend schwächer als die oberen, auch weit weniger zahlreich.

§. 98.

In dem Winkel, welchen bei ihrer Streckung Oberarm und Vorderarm mit einander machen, ist die sehnige Hautduplikatur Fig. 15. ausgespannt, welche der Windfang heißt (§. 68). Die Fig. 15 zeigt diese Haut in der horizontalen Lage des ausgestreckten Flügels von vorn gesehen. Diese Haut hat gegen die Horizontalebene, der Flügelbreite nach, dieselbe Neigung, wie die Ebene der Armknochen, also beiläufig 60° . Von innen oder hinten ist dieselbe

nur mit flaumigen Federn bedeckt, über welche sich mehrere vom Rande aus laufende Deckfedern legen; dagegen ist ihre vordere Fläche, sich an den Fächerrand anschliessend, mit zahlreichen kleinen, stark gekrümmten Federn überlegt, die gleichfalls den unteren Rand der Haut sammtartig bedecken, so daß eine nach vorn gewölbte Fläche entsteht.

§. 99.

Außer dem in Fig. 13 dargestellten Flügel des Taubenhais, gibt die Fig. 16 die Form des Flügels der Krähe, Fig. 17 des Thurmfalken, Fig. 18 der Saatgans, Fig. 19 des Kibitz, Fig. 20 des Seeadlers. Der jeder Figur beige gesetzte Bruch bezeichnet den Theil der natürlichen Grösse.

Die Ansicht dieser Formen von Flügeln verschiedener Vögel zeigt, daß sich diese im Wesentlichen durch die Art der Ausbreitung der Schwungfedern, in der Streckung des Flügels, unterscheiden. Bei den einen breitet sich die Schwinge so aus, daß die äusseren Schwungfedern sich nicht decken, sondern dreiseitige Zwischenräume bilden, zu welchem Behufe diese Federn auf dem breiten Barte ihrer Fahne, zum Theile auch auf dem schmalen, ausgeschnitten sind, d. h. die Fahne nimmt in einiger Entfernung von der Spule plötzlich ab, und setzt sich in abnehmender Breite gegen die Spitze fort (Fig. 13, 16, 20). Bei anderen Flügeln findet diese Trennung der Schwungfedern nicht Statt. Auch bei der vollen Ausbreitung des Flügels decken sie sich wechselseitig zu einer ungetrennten Fläche, wie in Fig. 17, 18. Andere Flügel liegen zwischen beiden Formen, sich mehr oder weniger der einen oder der andern nähernd.

§. 100.

Die Flügel mit ungetrennten Schwungfedern werden von den Ornithologen gewöhnlich **Stoßflügel** genannt, weil mehrere sogenannte Stofsvögel, besonders die Beitzfalken, mit ähnlichen

Flügeln versehen sind. Allein das Stossen der Vögel steht mit dieser Flügelform in keiner wesentlichen Verbindung. Der Tauben-
 Fig. 13. habicht z. B., dessen Flügel krähenartig ist (Fig. 13), stößt ganz gut, und die Saatgans, deren Flügel vollkommen die Stofsflügel-
 Fig. 18. form hat (Fig. 18), stößt niemals. Die Flügel mit ungetrennten Schwungfedern sind wesentlich für einen schnellen, heftigen Niederschlag geschickt; ich nenne sie daher Schnellflügel (von Schnellen, lancer); diejenigen mit getrennten Schwungfedern bezeichne ich als Ruderflügel. Die späteren Untersuchungen werden diese Benennung rechtfertigen.

Die Einrichtung der Schnellflügel ist ganz für einen heftigeren und schnelleren Flügelschlag berechnet. Die Schwungfedern sind hart und stark, sie haben nämlich starke Kiele mit einer weniger breiten, daher stärkeren Fahne. Die breiten Bärte der Fahne nehmen gegen die Spitze zu nur allmähig an Breite ab, so daß der schmale Bart der nachfolgenden Feder den breiten der vorhergehenden bis nahe zur Spitze hinaus deckt. Die Spulen dieser Federn liegen auf dem Knochen der Mittelhand und des großen Fingers unter einem schiefen Winkel auf, erhalten also dadurch eine längere, daher festere Auflage; überdem liegen sie eben dadurch näher an einander, stehen also mittelst der sie umgebenden Sehnenhaut in festerer Verbindung. Die Schwungfedern, welche ihre Auflage auf der Mittelhand haben, liegen daher nahe parallel an einander, und nur jene des kleinen und großen Fingers legen sich unter immer kleineren Winkeln auf. Die Lenkfeder ist bei diesen Flügeln beinahe eben so lang als die folgende oder zweite Schwungfeder, bei einigen, zumal kleineren Vögeln selbst die längste; in der Regel hat die zweite die größte Länge und die übrigen nehmen sogleich an Länge ab. Durch diese gestreckte und zusammengeschobene Lage der äußeren Schwungfedern erhält der Flügel eine verhältnißmäßig geringere Breite, weil dann die

Fächerfedern nur kurz seyn können, um nicht über die Linie hinaus zu gehen, welche die hintere Kante des Flügels begrenzt.

§. 101.

Unter den guten Fliegern mittlerer Grösse sind nur wenige mit solchen Flügeln ausgestattet, wie einige Falken (der Wanderfalke, Baumfalke, Thurmfalke), dann die Seeschwalben, die Tauben, sonst aber mehr und weniger alle kleinen Vögel herab bis zu den Colibris. Gewisse Flugbewegungen, vorzüglich in den schnellen Wendungen nach rechts oder links, in plötzlichen Änderungen der Richtung und der Geschwindigkeit der Bewegung können nur durch einen gewissermassen insektenartigen Flug, d. i. durch schnelle Flügelschläge mittelst einer steifen Flügelfläche ausgeführt werden. Die eigentlichen Raubvögel, welche fliegende Vögel in der Luft ergreifen, und jene, welche fliegende Insekten erhaschen, stehen daher rücksichtlich ihres Flugmechanismus in derselben Klasse. Die steife Fläche der Schwinge der Schnellflügel begünstigt im Besondern die beliebige Verkürzung des Flügels mittelst der beliebigen Einziehung des Vorderarms bei bleibender Streckung der Schwinge (§. 58), wodurch der Vogel während der Flügelschläge seine Geschwindigkeit vorwärts beliebig zu mässigen, oder durch Einziehung des Lenkfittichs, Ruhe des Vorwärtswenders des grossen Fingers und geringe Neigung der Flügelfläche nach rückwärts mittelst des kleinsten Brustmuskels ganz zu hemmen im Stande ist, so dafs er an derselben Stelle flatternd bleibt, wie dieses von dem Thurmfalken geschieht, indem er rittelt (§. 112), und von den Colibris, indem sie summend an einer Stelle schweben.

§. 102.

Bei den Ruderflügeln sind die äusseren Schwungfedern aus einander gespreizt, und ihre Fahne ist auf beiden Bärten ausgeschnitten, damit der breite Bart der vorhergehenden Feder von

dem schmalen Barte der nachfolgenden ungedeckt bleibe. Wenn beim Niederschlage des Flügels durch die Wirkung des Streckers und des Vorwärtswenders des grossen Fingers die Schwinge der Schnellflügel eine nach vorn gewölbte Form mittelst der an einander schliessenden Federn erhält, so werden durch eben diese Muskelwirkung die Schwungfedern des Ruderflügels vermöge ihrer sie von einander trennenden Ausschnitte schief gestellt, so daß jede dieser Federn nach der Länge ihres Ausschnittes beim Niederschlage des Flügels eine der Luftströmung entgegen stehende schiefe Fläche bildet. Da diese ausgeschnittenen Schwungfedern, wie wir in der Folge sehen werden, ein Hülfsmittel für die Vorwärtsbewegung im Fluge bilden, so bezeichne ich sie mit dem Namen der „Ruderfeder.“ Die Ruderflügel haben, wie sich aus der Lage ihrer Schwungfedern von selbst ergibt, eine verhältnißmässig grössere Breite als die Schnellflügel; die Federn, sowohl der Schwinge als des Fächers sind verhältnißmässig zu ihrer Länge schwächer, als bei jenen, dagegen sind sie nach der Länge der Kiele mehr gekrümmt, die Flügelfläche daher mehr gewölbt.

Die Winkel, unter denen die Schwungfedern bei gestreckter Schwinge auf der Mittelhand und den Fingern aufliegen, vermindern sich ziemlich regelmässig von innen nach aussen. So hat die Auflage der letzten oder zehnten Schwungfeder, welche an die erste Fächerfeder anschliesst, einen Winkel von etwa 50° , die folgende etwas weniger, die achte einen Winkel von 40° , die siebente von 36° , und so vermindert sich dieser Winkel allmähig, daß er bei der dritten oder der zweiten des grossen Fingers nur noch 15° — 10° , bei der zweiten 10° — 5° , bei der Lenkfeder gewöhnlich 0 ist. Es ist einleuchtend, daß bei dieser Auflage der Schwungfedern der Zweck erreicht wird, daß die äusseren oder Ruderfedern sich so aus einander spreitzen, daß ihre Ausschnitte frei werden, ohne daß diese Ausschnitte selbst eine zu geringe

Breite erhalten, und daß dabei zugleich der Flügel eine größere Breite erlangen kann.

§. 103.

Die Zahl der Ruderfedern, bei den eigentlichen Ruderflügeln, variirt wenig, und nimmt mit der Gröfse des Vogels zu. So hat der Flügel der Krähe, der Weihe, der Boussarde und anderer Falken, die nicht mit Schnellflügeln oder solchen, die sich diesen nähern, versehen sind, fünf Ruderfedern, der Flügel des Adlers (mit Einschluss des Seeadlers) sechs, der graue und weisköpfige Geier sieben, der Kondor acht. Um das Verhältniß dieser Ausschnitte zu übersehen, werden hier die Maße derselben vom Flügel eines Adlers, dessen Länge 35 Zoll, beigelegt. Der schmale Bart der Lenkfeder, von 12 Zoll Länge, hat gleiche Breite, ihr breiter Bart einen Ausschnitt von 6 Zoll; die zweite Schwungfeder von $16\frac{1}{2}$ " Länge, Ausschnitt des schmalen Bartes 10", des breiten 8"; die dritte Schwungfeder, von $19\frac{1}{2}$ " Länge, Ausschnitt des schmalen Bartes 10", des breiten 9"; die vierte Schwungfeder, von $19\frac{1}{2}$ " Länge, Ausschnitt des schmalen Bartes 9", des breiten 8"; die fünfte Schwungfeder, von 20" Länge, Ausschnitt des schmalen Bartes 8", des breiten $7\frac{1}{2}$ "; die sechste Schwungfeder, von $19\frac{1}{2}$ " Länge, Ausschnitt des schmalen Bartes $7\frac{1}{2}$ ", des breiten $5\frac{1}{2}$ "; die siebente Schwungfeder, von 17" Länge, ist nur noch auf dem schmalen Barte auf 4" Länge ausgeschnitten, und schließt sich mit dem breiten Barte an die nächstfolgende, von dieser gedeckt, an, indem ihre Spitze in die hintere Flügelkante fällt. Von diesen Schwungfedern bildet die dritte die äußerste Spitze des Flügels, obgleich sie nicht absolut die längste ist, weil die fünfte schon auf der Mittelhand aufliegt und dadurch etwas weiter zurück gerückt ist. Vermöge dieser ihren respektiven Auflagen korrespondirenden Längen liegen die Enden der Schwungfedern nach außen in einer bogenförmigen Linie. Die Länge der

Schwungfedern bei den obigen Maßen ist von der Spitze der Spule an genommen.

§. 104.

Die Länge der Ausschnitte im Verhältnisse zur Länge der Feder nimmt in der Regel zu mit der Zahl der Ruderfedern. So beträgt beim grauen Geier der längste Ausschnitt 14 Zoll bei der Länge der Feder von 24 Zoll, der sich bei der fünften auf 10", bei der sechsten Ruderfeder auf 8", bei der siebenten auf 5" vermindert; bei einem Kondor von denselben Dimensionen beträgt der längste Ausschnitt der zweiten und dritten Ruderfeder 16 Zoll, der vierten 14", der fünften, sechsten 12", der siebenten 10½", der achten 10 Zoll. Der Kondor besitzt demnach unter allen Fliegern die am meisten ausgebildeten Ruderflügel, indem beinahe die ganze Schwinge aus Ruderfedern besteht.

Die geringste Breite des Ausschnittes der Ruderfedern, sowohl an dem breiten als schmalen Barte, beträgt beiläufig die Hälfte der Breite des Bartes gegen die Spule zu; in dem Maße, als die Ausschnitte der nachfolgenden Federn sich verkürzen, nimmt auch die Breite des ausgeschnittenen Bartes allmähig zu. Die Breite ist bis nahe zur Spitze gleich.

§. 105.

Durch die Ruderfedern besitzt der Flügel, wie in der Folge sich ergibt, ein ausgebildetes Organ der Vorwärtsbewegung, mittelst dessen der Vogel bei langsameren Flügelschlägen und geringerer Muskelstärke dieselbe oder eine grössere Geschwindigkeit zu erreichen fähig ist, wie mittelst der Schnellflügel. Die Ruderflügel haben verhältnismässig eine grössere Fläche, sind daher mehr zum Schweben geeignet als die Schnellflügel; sie gehören daher allen grossen Vögeln an, die mit andauernder, ziemlich gleichförmiger Geschwindigkeit die Lüfte durchstreichen, um auf der Erdoberfläche ihre Nahrung auszuforschen. Der Schnellflügler geht zwar,

eben wegen seiner kleineren, mehr zugespitzten Flügelfläche und den schnelleren Flügelschlägen leichter gegen einen steifen Wind, steigt auch leichter aufwärts unter einem größeren Winkel in gerader Richtung; dagegen erhebt sich der Ruderflügler ohne viel Anstrengung in seinen weiten Spiralen zu jeder Höhe, die ihn in eine sanftere Luftregion versetzt. Daher hat der Schnellflügler als Raubvogel das Übergewicht über den Ruderflügler, weil der Raubvogel in der Luft seine Beute ergreift, indem er aus der Höhe auf sie niederstürzt; der Schnellflügler gewinnt aber schneller die Höhe durch sein gerades schiefes Aufwärtssteigen, die der Ruderflügler erst durch einen kreisenden Umweg zu erreichen suchen muß.

Je größer der Vogel, desto langsamer werden bei angemessener Flügellänge seine Flügelschläge, desto einfacher seine Flugbewegungen; die Anwendung der Schnellflügel findet also bei einer gewissen Gröfse von selbst ihre Grenze, und sie müssen bei einer gewissen Verminderung der Geschwindigkeit der Flügelschläge mehr und weniger in Ruderflügel übergehen, um dem Zwecke der Vorwärtsbewegung zu genügen. Die Ruderflügel dagegen müssen ihre vollständige Ausbildung bei denjenigen Vögeln erreichen, die, ohne einen Raub in der Luft zu verfolgen, ihre Nahrung auf der Erde suchen und deshalb ihre Luftreviere durchstreichen. So verhält sich unter den kleinen Vögeln die Krähe, unter den großen der Geier und Kondor. Der Kondor ist der König der Flieger ¹⁾; er ist der Reisende der Lüfte; sich zu einer Höhe erhebend, zu welcher keine Bergspitze reicht, durchstreift er in wenigen Stunden einen ungeheuren Landstrich, um seine Nahrung auf der Erdoberfläche zu entdecken, seinen Flug auf einfache gleichmäßige Bewegungen beschränkend, eine wahre Flugmaschine.

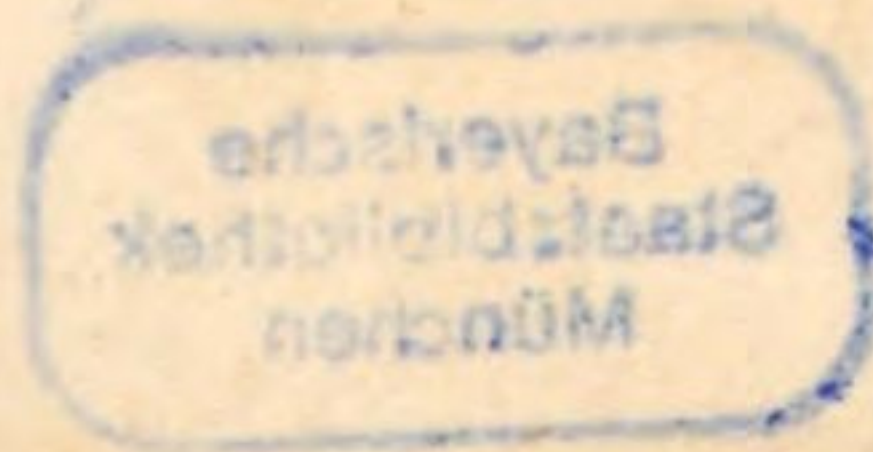
¹⁾ Mit Recht sagt *Buffon* [hist. nat. des ois. T. I. p. 144: Le Condor possède même à un plus haut degré que l'aigle toutes les qualités, toutes les puissances de cette classe d'êtres.

§. 106.

Die Ruderflügel sind jedoch für schnelle und gewandte Flugbewegungen ebenfalls noch tauglich, jedoch in minderem Grade als die Schnellflügel und mit einiger Modifikation. So gehören der Taubenhabicht und der Finkenhabicht (Sperber), die mit Ruderflügeln versehen sind, zu den sogenannten Stofsvögeln, indem sie, meistens zwar sitzende Vögel ergreifend, doch auch im Fluge fangen und gewandte Flieger sind. Allein ihre Flügel sind kürzer (mit denen des rauhfüßigen Boussard verglichen müßte ihre Länge 21" und $13\frac{1}{3}$ " betragen, statt $17\frac{3}{4}$ " und 11"), sie machen daher schnellere Flügelschläge; überdem ist ihr Lenkfittich größer und ihr Schwanz länger, und ungeachtet dieser Hülfsmittel, welche die Gewandtheit der Bewegungen befördern, entgeht ihnen doch mancher Vogel, den der Baumfalke z. B. mit Leichtigkeit erhascht. Auf der anderen Seite und aus den entgegengesetzten Gründen gibt auch der Schnellflügel nicht immer die ihm ursprüngliche eigene Beweglichkeit; wie bei der Saatgans, deren Schnellflügel, im Verhältniß zum Gewichte des Vogels, so kurz ist, daß er für den einfachen Niederschlag nur zur Tragung des Körpers hinreicht, der Schwanz dabei als Steuer so wenig ausgebildet, daß er mit Hülfe des Halses nur langsame Änderungen der Bewegung nach auf- und abwärts bewirken kann. Nur bei hinreichender Länge, welche die nöthigen Verkürzungen erlaubt, ohne daß dabei die Tragfläche des Flügels bei dem Niederschlage unzureichend wird, sind die Schnellflügel ihre eigenthümliche Wirkung zu leisten im Stande.

§. 107.

Zwischen der Grenze der Ruderflügel auf der einen und jener der Schnellflügel auf der anderen Seite, von denen jene durch den Kondor, diese durch die Seeschwalbe repräsentirt ist, liegen vielerlei Abstufungen, die den verschiedenen Arten der Vögel zugehören und mit ihrer Lebensart in nächster Beziehung stehen. Bei einer



und derselben Art sind die Ausschnitte der Ruderfedern, sowohl nach Zahl als Länge, immer dieselben, so daß sie als ein charakteristisches und zwar genaues Kennzeichen gelten können. So hat der Flügel des Seeadlers in Bau und Form mehr Ähnlichkeit mit dem Flügel des grauen Geiers, als dem des Adlers; aber die Zahl und Form seiner Ruderfedern ist genau jene des letzteren. So wie bei Vögeln, die zu derselben Familie gehören, eine Verschiedenheit der Lebensweise, vorzüglich der Nahrungsweise eintritt, ändert sich auch die Einrichtung der Ruderfedern, und die Ruderflügel gehen in Schnellflügel oder auch umgekehrt über. Der rauchfüßige Boussard z. B., der Mäuseboussard, die von Mäusen etc. leben, haben Ruderflügel; die Flügel des Wespenboussards, der außerdem die Wespenester stört, auch kleine Vögel ergreift, sind schon schnellflügelähnlich, indem sie mit der Lenkfeder nur drei Ausschnitte der breiten Fahne oder drei Ruderfedern besitzen. Die Flügel des Geieradlers (*Gryphus barb.*) haben nur vier Ruderfedern, was diesen mächtigen Raubvogel von dem Adler und noch mehr von dem Geier unterscheidet, und ihn dem Habicht nähert, mit dem er auch die Länge des Schwanzes und den kecken Muth gemein hat. Der Ausschnitt seiner 20zölligen Lenkfeder beträgt 11 Zoll, der zweiten Ruderfeder, von 24" Länge, 11", der dritten, von gleicher Länge, $10\frac{1}{2}"$, der vierten 5 Zoll.

§. 108.

Bei einigen Vögeln sind Ruder- und Schnellflügel gewissermaßen vereinigt, so daß ihre Flügel eine Mittelform zwischen beiden bilden, wozu der Flügel des Kibitz (*vanellus cristatus*, Fig. 19) ein Beispiel geben kann. Die Lenkfeder ist nur sehr wenig kürzer als die zweite Schwungfeder; die zwei oder drei ersten Federn sind nur sehr wenig, gegen die Spitze hin, ausgeschnitten, gleich Schnellflügeln; dagegen ist der Flügel breit, weil die zweite, dritte und vierte Schwungfeder von gleicher Länge sind, und die Länge

der folgenden nur allmählig abnimmt; die Federn sind weich, alles gleich Ruderflügeln. Daher bilden die Flugbewegungen solcher Vögel auch gewissermaßen ein Mittel aus jenen der Schnell- und Ruderflügler, indem sie gut schweben, dabei aber doch manche Bewegungen der Schnellflügler ausführen können. Der hintere Theil der breiten Schwinge biegt sich im Niederschlage des Flügels aufwärts, und wirkt dabei wie eine einzige breite Ruderfeder. Durch diesen Aufschlag gibt der Flügel dieses Vogels im Niederschlage einen fuchtelnden Ton.

§. 109.

Die Bewegung der Schnellflügel im Fluge ist wegen der grösseren Steifheit ihrer Schwungfedern, die über einander liegend eine steife Decke bilden, bei gleicher Flügellänge rauschender als jene der Ruderflügel. Bei den Ruderflüglern werden die Federn um so weicher, je mehr ihre Nahrungsverhältnisse für sie einen geräuschloseren Flug bedingen, wie beim Mäuseboussard, und noch mehr bei den Eulen, bei denen zu diesem Behufe die schmalen Bärte der Schwungfedern, die sonst immer eine scharf auslaufende Schneide bilden, franzenartig ausgefasert sind, übrigens alle Bärte der Fahnen eine grössere Weichheit besitzen, wogegen der Flügel selbst eine grössere Breite hat. Die mehr oder weniger rauschende Bewegung der Flügel ist übrigens auch durch ihre relative Länge bedingt. Sind die Flügel im Verhältniss zum Gewicht des Körpers kürzer, so sind heftigere Flügelschläge nöthig, die dann auch bei den Ruderflügeln einen geräuschvollen Flug bewirken, wie beim Taubenhabicht und den Hühnern.

II.

Verhältnisse der Flügeltheile.

§. 110.

Die Verhältnisse der einzelnen Theile, aus denen der Flügel besteht, sind bei verschiedenen Vögeln verschieden, jedoch inner-

halb nicht sehr weit aus einander liegenden Grenzen, wie sich aus der späterhin folgenden Tafel übersehen läßt. Über den Grund dieser Einrichtungen können nachfolgende Bemerkungen den Aufschluß geben.

Dafs Oberarm und Vorderarm im Verhältnisse der Länge verschieden sind; dafs bei der Streckung des Flügels Oberarm und Vorderarm unter einem Winkel geneigt sind, und das von denselben gebildete Dreieck mit der Windfangshaut ausgefüllt ist, mit welchem beide Knochen supinirend einen Winkel von 60° mit der horizontalen bilden, ist bereits oben bemerkt worden. Der Winkel, welchen Oberarm und Vorderarm bei der grössten Streckung mit einander bilden, beträgt ziemlich konstant bei allen Vögeln 130° . Es scheint dieses der Winkel zu seyn, bei welchem nicht nur der Oberarm mit dem Vorderarm in dieser Biegung und Neigung mittelst des Streckmuskels des Vorderarms beim Niederschlage des Flügels den grössten Kraftwiderstand zu leisten fähig ist, sondern auch dabei der Windfang selbst noch die grösste Höhe erhält.

§. 111.

Bei der vortheilhaftesten Streckung des Flügels muß die Bedingung Statt finden, dafs eine von dem Flügelgelenke aus senkrecht auf die Axe des Vogels gezogene Linie in der Basis des Windfangs und in der Mittelhand liegt. In der Fig. 22, in welcher $a'b'$ die der Axe des Vogels parallele Linie ist, b und a der Oberarm und Vorderarm, ist cd diese Linie, welche die Flügelinie heissen soll. In dem Punkte l liegt der Lenkfittich und in ld die Mittelhand mit dem grossen Finger. Diese Lage ist die vortheilhafteste; denn bei derselben ist die Flügellänge zwischen den Punkten e und f die grösste. Diese Lage ist auch in der That im Allgemeinen die Lage des gestreckten Flügels beim Vogel. Fig. 22.

Nun finden aber für die vortheilhafteste Flügelstreckung noch zwei weitere Rücksichten Statt, nämlich: 1) dafs der Winkel o ,

den der Oberarm mit der Axenlinie macht, auf die kleinste Grösse beschränkt bleibe, theils damit die an seinem Kopfe befestigten Muskeln bei zu grosser Streckung nicht ohne Noth in Anspruch genommen werden, theils weil die schnelle Einziehung des Oberarms in der dem Rückschlage vorhergehenden Zusammenziehung des Flügels wesentlich ist, theils endlich, weil der auf dem Oberarm liegende schwach-federige Deckfittich nicht zu weit hinaus gerückt werden kann; 2) dafs der Winkel m , den die Mittelhand mit dem Oberarm bildet, so gross wie möglich werde, weil die Sehnen, welche die Mittelhand strecken, von den Muskeln des Vorderarms kommen, folglich um so vortheilhafter wirken, je gröfser jener Winkel wird.

Diese beiden Bedingungen können, wie die Einsicht der Fig. 22. Fig. 22 von selbst zeigt, für die gleiche Länge des Oberarms und für denselben Winkel i ohne Verkürzung des Flügels nur dadurch erreicht werden, dafs sich der Vorderarm verlängert, wie dieses in der Figur durch die punktirten Linien angegeben ist, wo m' den neuen vergrößerten Winkel des Vorderarms mit der Mittelhand bezeichnet ¹⁾. Diese Verlängerung des Oberarms hat noch den wesentlichen Vortheil, dafs der Windfang eine gröfsere und durch die weitere Hinausrückung wirksamere Fläche erhält, und dafs für dieselbe Flügellänge die Schwungfedern eine kürzere Länge erhalten, oder für deren gleiche Länge die Flügellänge gröfser wird.

Hierin liegt der Grund, dafs bei allen guten und vorzüglichen Fliegern die Länge des Vorderarms jene des Oberarms überschreitet, und zwar bei den grössten Fliegern auch in dem grössten Verhältnisse. Die Grenze dieser Verlängerung des Vorderarms

¹⁾ In Fig. 22 ist $\cos n = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$, und der Winkel $m = n + i$.

Bei demselben Winkel i vergrößert sich durch die Verlängerung des Vorderarms der Winkel n , und um so viel der Winkel m .

ist theils durch die relative Stärke seines Streckmuskels, die im Verhältnisse zum Oberarm ein gewisses Mafs nicht überschreiten kann, theils durch die relative Stärke der äufseren Federn des Fächers gegeben, die auf dem äufseren Ende des Vorderarms aufliegend bei einer zu grofsen Länge desselben einen für diese Auflage zu grofsen Widerstand erleiden müfsen, dabei noch abgesehen von der mit der gröfseren Länge nöthigen Verstärkung des Knochens und unverhältnifsmäfsiger Vergröfserung des Flügelgewichtes.

§. 112.

Bei verschiedenen Flugbewegungen des Vogels, die mit nicht vollständig gestreckten Flügeln ausgeführt werden, als dem Ritteln, Flattern, langsamer Vorwärtsbewegung etc. ist der Winkel α des Oberarms und Vorderarms veränderlich, desgleichen die Anziehung des Oberarms an den Leib, während die Schwinge ganz oder zum Theil gestreckt bleibt (§. 58).

Diese Flügelbewegungen im Fluge reguliren sich zum Theil von selbst vermöge der schon früher erklärten Einrichtung der Bewegung der Mittelhand. Denn durch die kombinierte Wirkung des Mittelhandstreckers (§. 52) mit seinem Antagonisten und mit dem Streckmuskel des Vorderarms, in Verbindung mit der Verschiebung der Speiche des letzteren (§. 24) reguliren sich die Winkel des Oberarms mit dem Vorderarm und des letzteren mit der Mittelhand dergestalt, dafs die Flügelstreckung immer nahe in der Flügellinie liegt. Damit nämlich die Mittelhand die gröfste Streckung erhalte, mufs auch die gröfste Streckung des Vorderarms Statt finden; bei einem kleineren Winkel des letzteren mit dem Oberarm streckt sich auch die Mittelhand mit dem Vorderarm unter einem kleineren Winkel, der mit der Biegung abnimmt und bei der Einziehung des Vorderarms nahebei ein rechter ist.

§. 113.

Die Basis des Windfangs oder des Dreiecks, welches den Winkel der beiden Armknochen ausfüllt, macht einen Theil der ganzen Länge des Flügels aus, dessen Grösse, wie wir so eben gesehen, von der relativen Länge des Oberarms, überdem auch von der absoluten Länge der beiden Armknochen selbst abhängt¹⁾. Diese absolute Länge variirt bei verschiedenen Vögeln, und steht zum Theile mit der Länge der Schwungfedern im verkehrten Verhältnisse, so dafs den letzteren an Länge zugegeben ist, um wie viel die Armknochen verkürzt sind. Diefs ist in der Regel bei allen kleineren Vögeln der Fall, bei denen die Erreichung einer gewissen Flügellänge durch die Verlängerung der Schwungfedern ohne Beeinträchtigung der nöthigen Stärke oder Steifheit leichter erreicht werden konnte, als durch die Verlängerung der Armknochen. Auch die Schnellflügler, die gleichfalls mit längeren und stärkeren Schwungfedern versehen sind, haben in der Regel kürzere Armknochen. So beträgt bei den kurzen Armknochen der Mauer-
schwalbe (§. 30) bei einer Flügellänge von $5\frac{1}{2}$ '' die Länge der grössten Schwungfeder 4''. Selbst beim Geieradler, dessen Flügel sich den Schnellflüglern nähern, zeigt sich dieses Verhalten. Bei einer gröfseren Flügellänge ist die Länge seiner Armknochen dieselbe wie bei dem Seeadler, dagegen sind die grofsen Schwungfedern länger und daher von einer Stärke, die selbst jene beim Geier und Kondor übertrifft. Bei den grofsen Vögeln, die mit Ruderflügeln versehen sind, wie bei den Geiern, Adlern und Falken

¹⁾ Bezeichnet b die Länge des Oberarms, a jene des Vorderarms, c die Seite des Windfangs, und i den von Oberarm und Vorderarm eingeschlossenen Winkel, so ist

$$c = \sqrt{(a-b)^2 + 2ab(1 - \cos i)},$$

und für $i = 130^\circ$

$$c = \sqrt{(a-b)^2 + 3.28ab}.$$

beträgt die Basis des Windfangs oder des Dreiecks, das Oberarm und Vorderarm bilden, beiläufig die Hälfte der Länge des Flügels. Bedeutend längere Armknochen im Verhältniß zur Flügellänge und hiernach bedeutend kürzere Schwungfedern haben der Reiher, der Storch, die Möve, der Pelikan, folglich Vögel, die ihrer Nahrungsweise wegen nahe über der Erde oder dem Wasser hinstreichend, durch Einziehung der Schwinge den Flügel im Niederschlage zu verkürzen gezwungen sind, dabei aber wegen der Ausdehnung des Fächers noch die nöthige Widerstandsfläche behalten. Beim Pelikan beträgt die Basis des Windfangs an $\frac{3}{5}$ der Länge des Flügels. Warum die Natur bei einigen Vögeln, wie den Kolibris, die Armknochen aufsergewöhnlich verkürzt hat, wird sich in der Folge ergeben (§. 131).

§. 114.

Der Mittelhandknochen hat diejenige Länge, die zur Auflage der sechs letzten Federn der Schwinge nöthig ist, daher kein bestimmtes Verhältniß zu der Länge der Armknochen oder des Flügels. Da bei den Schnellflügeln diese Federn unter einem etwas schiefen Winkel aufliegen, folglich mehr Platz einnehmen, so ist die Länge dieses Knochens bei solchen Flügeln etwas größer, als bei den Ruderflügeln, was besonders bei der Mauerschwalbe auffallend ist, wo die Länge der Mittelhand jener des Oberarmknochens gleich ist, während sie sonst nur etwa die Hälfte dieser Länge erreicht, oder sie wenig übertrifft.

§. 115.

Der Knochen des ersten Gliedes des großen Fingers enthält die Auflagen für die zweite und dritte Schwungfeder, die bei den Schnellflügeln die größten und stärksten sind, und ebenfalls unter einem schiefen Winkel aufliegen. Bei diesen Flügeln ist daher dieser Knochen etwas länger, jedoch weniger breit, als bei den Ruderflügeln, bei welchen auf demselben die beiden Federn unter

einem weniger schiefen Winkel aufliegen. Seine Länge erreicht gewöhnlich die Hälfte der Länge der Mittelhand bei jenen Flügeln.

Die Dimension des Knochens des zweiten Gliedes des großen Fingers, an dessen rinnenförmiger Aushöhlung die Lenkfeder befestigt ist, steht mit der Länge dieser Feder selbst im Verhältnisse, ist daher auch bei den Schnellflügeln, bei denen diese Feder viel länger ist, als bei den Ruderflügeln, länger und stärker als bei den letzteren. Seine größte Länge ist jener des ersten Gliedes gleich, bei den Ruderflügeln beträgt sie nur die Hälfte bis zwei Drittel.

§. 116.

Die Länge der größten Schwungfeder, von welcher die Länge der Schwinge abhängt, steht zunächst, wie vorher bemerkt worden, mit der Länge der Armknochen in Verbindung. So beträgt bei der Mauerschwalbe und dem aschgrauen Kukuk, die beide mit sehr kurzen Armknochen versehen sind, die große Schwungfeder $\frac{3}{4}$ der Länge des ganzen Flügels. Bei den Krähen, die kürzere Armknochen haben als die Falken, sind auch verhältnißmäßig die Schwungfedern länger. Bei den kleinen Vögeln beträgt die Länge der großen Schwungfeder in der Regel die Hälfte der Flügellänge, was auch bei den Hühnern der Fall ist. Auch bei den großen Fliegern mit Ruderflügeln ist das Verhältniß beiläufig dasselbe. Bei den Schnellflüglern hat die größte Schwungfeder eine verhältnißmäßig größere Länge.

§. 117.

Die Breite des Flügels ist durch die Lage der Schwungfedern gegeben. Da bei den Schnellflügeln die drei bis vier ersten Federn einander decken, und die folgenden dann schnell in der Länge abnehmen, so erhält der Flügel dadurch eine geringere Breite, die gewöhnlich ein Drittheil der Länge beträgt. Bei den Ruderflügeln variiren die Ruderfedern in der Länge nur wenig, und

die Schwungfeder, die sich an den Fächer anschließt, behält eine gröfsere Länge, wodurch sonach der Flügel breiter wird, weil die Länge dieser Feder in Beziehung auf den Winkel ihrer Auflage die Breite des Flügels bestimmt. So schiefst sich beim Adler, von welchem oben (§. 103) die Ausschnitte der Ruderfedern angegeben wurden, die siebente Schwungfeder von 17 Zoll Länge an den Fächer an. Die Flügelbreite ist hier also gleich der Länge dieser Feder mit dem Cosinus des Winkels multipliziert, mit dem sie bei der Streckung auf der Mittelhand aufliegt. Dieser Winkel ist etwa 36° ; folglich die Breite des Flügels $= 17'' \times 0.809 = 13\frac{3}{4}''$, wie es in der That der Fall ist. Beim Geier wird die Flügelbreite verhältnifsmäfsig etwas kleiner, weil bei demselben erst die achte schon kürzere Schwungfeder in die Linie des Fächers fällt. Bei den Ruderflügeln ist die Breite am Lenkfittich gewöhnlich die gröfste, am Ende des Fächers die kleinste; doch ist der Unterschied nicht bedeutend, und beträgt höchstens $\frac{1}{15}$. Bei dem Schnellflügel ist es umgekehrt, indem er gewöhnlich am Deckfittich etwas breiter wird. Wir werden übrigens in der Folge sehen, dafs die Flügelbreite mit der Lage des Schwerpunktes des Vogels zusammenhängt. Bei vielen kleinen Vögeln, zumal jenen aus dem Finkengeschlecht, hat der Flügel, bei verhältnifsmäfsig geringerer Länge eine gröfsere Breite, weil er gewissermafsen einen Doppelflügel bildet.

§. 118.

Zur Erläuterung der vorstehenden Bemerkungen über die Variationen dieser Flügelverhältnisse sind in der nachfolgenden Tafel die Mafse derselben für verschiedene Vögel, die sich mehr oder weniger in ihrem Flugmechanismus unterscheiden, nach eigenen Messungen angegeben.

N a m e n.	Länge in Zollen.							Gewicht.
	Ober-arm.	Vorder-arm.	Mittel-hand.	Erstes Finger-glied.	Flügel-länge.	Längste Schwung-feder.	Breite des Flügels.	
Grauer Geier .	10 $\frac{1}{2}$ "	13"	5 $\frac{1}{4}$ "	2"	50"	25"	18"	18 Pf.
Weißköpfiger Geier . . .	10 $\frac{1}{2}$ "	12 $\frac{7}{8}$ "	5 $\frac{1}{2}$ "	2"	48"	24"	17 $\frac{1}{2}$ "	15 Pf.
Geieradler . .	8 $\frac{1}{2}$ "	9 $\frac{3}{4}$ "	4 $\frac{1}{4}$ "	2"	44"	24"	16 $\frac{1}{2}$ "	14 Pf.
Seeadler . .	8 $\frac{1}{2}$ "	9 $\frac{3}{4}$ "	4 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{3}{4}$ "	40"	20"	17"	9 Pf.
Steinadler a) .	7 $\frac{2}{3}$ "	9"	4 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	38"	11 $\frac{1}{2}$ "	15"	7 $\frac{1}{2}$ Pf.
Steinadler b) .	6 $\frac{3}{4}$ "	8"	3 $\frac{3}{4}$ "	1 $\frac{1}{4}$ "	35"	19"	14"	6 Pf.
Pelikan (<i>P. onocrotalus</i>)	14 $\frac{1}{2}$ "	16 $\frac{1}{2}$ "	6 $\frac{1}{3}$ "	2 $\frac{1}{2}$ "	50"	16"	17"	25 Pf.
Kolkrabe . .	3 $\frac{1}{2}$ "	4 $\frac{1}{4}$ "	2 $\frac{1}{3}$ "	1 $\frac{1}{4}$ "	22"	13 $\frac{1}{2}$ "	9"	1 $\frac{2}{3}$ Pf.
Saatkrähe . .	2 $\frac{1}{2}$ "	3"	1 $\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{4}$ "	17 $\frac{1}{2}$ "	10 $\frac{1}{2}$ "	7 $\frac{1}{2}$ "	30 Lth.
Taubenhabicht	3 $\frac{1}{3}$ "	3 $\frac{2}{3}$ "	1 $\frac{3}{4}$ "	$\frac{2}{3}$ "	18"	10 $\frac{1}{4}$ "	7 $\frac{1}{2}$ "	38 $\frac{1}{2}$ L.
Wespen-Bous-sard . . .	3 $\frac{1}{3}$ "	4"	2"	1"	19"	11 $\frac{1}{2}$ "	6"	38 Lth.
Thurmfalke .	2"	2 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{1}{6}$ "	7"	12 $\frac{1}{2}$ "	7 $\frac{1}{2}$ "	4"	14 Lth.
Saatgans . .	6"	6"	3 $\frac{2}{3}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	28"	14"	10 $\frac{1}{2}$ "	6 $\frac{1}{4}$ Pf.
Mauerschwalbe	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{4}$ "	5"	5 $\frac{1}{2}$ "	4"	2"	1 Lth.
Silbermöve . .	5 $\frac{1}{2}$ "	5 $\frac{1}{2}$ "	3"	1 $\frac{1}{4}$ "	28"	11"	9"	2 $\frac{1}{2}$ Pf.
Uhu . . .	5 $\frac{2}{3}$ "	6 $\frac{1}{2}$ "	3"	1 $\frac{1}{2}$ "	24"	11"	12"	4 Pf.
Storch, gem. .	8"	9 $\frac{1}{2}$ "	4 $\frac{5}{8}$ "	1 $\frac{3}{4}$ "	37"	17"	13"	6 $\frac{2}{3}$ Pf.
Kibitz . . .	2 $\frac{1}{4}$ "	2 $\frac{2}{3}$ "	1 $\frac{1}{3}$ "	7"	12"	7"	4 $\frac{3}{4}$ "	13 Lth.
Schwan, gem.	11"	9"10"	5"	2"	3'1"	16—17"	12"	15 Pf.

§. 119.

Die Größe des Lenkfittichs (§. 96), dessen nächste Funktion darin besteht, daß er, wenn er an dem einen Flügel entfaltet ist, beim Niederschlage durch den auf ihn vorwärts wirkenden Luftdruck den Vogel

nach der andern Seite wendet, z. B. nach der linken, wenn er am rechten Flügel, und nach der rechten, wenn er am linken Flügel wirkt, steht so ziemlich mit der Grösse der Lenkfeder im verkehrten Verhältnisse. Denn auch die letztere wirkt, wenn sie einseitig vorgelegt wird, für denselben Zweck, jedoch wegen ihrer bedeutend grösseren Entfernung vom Umdrehungspunkte in einem grösseren Bogen, folglich in einer weniger kurzen Wendung. Da nun bei den Schnellflügeln die Lenkfeder viel grösser ist als bei den Ruderflügeln, und bei jenen Flügeln die Flügelschläge schneller erfolgen als bei letzteren, so ersetzt bei ihnen die Lenkfeder die Wirkung des Lenkfittichs um so mehr, je kürzer die Flügel und je schneller die Flügelschläge sind. Bei den Ruderflügeln ist daher der Lenkfittich am grössten und am meisten ausgebildet, bei den Schnellflügeln kleinerer Vögel dagegen bedeutend weniger, so daß er z. B. bei der Schwalbe kaum mehr als ein Rudiment erscheint. In der Regel ist bei allen grösseren Flügeln die Länge der ersten oder grossen Feder des Lenkfittichs so gross, daß sie die Mittelhand und den grossen Finger überdeckt. Denn wenn der Lenkfittich zweiseitig wirkt, nämlich auf beiden Flügeln im Niederschlage zugleich vorgelegt wird, wie dieses der Fall ist, wenn der Vogel im Flügelschlage in gerader Richtung vorgeht, so bildet er über der Mittelhand bis zur Lenkfeder an der vorderen Flügelkante eine Verlängerung des Windfangs, die mit der beiderseitig vorgelegten Lenkfeder und dem eigentlichen Windfang eine an dieser Kante fortlaufende gewölbte für die Vorwärtsbewegung wirkende Schranke bildet. Bei solchen Vögeln, die mit Ruderflügeln versehen sind, aber dennoch, gleich den Schnellflüglern, kurze Wendungen zu machen haben, erreicht der Lenkfittich eine bedeutendere Länge, wie beim Taubenhabicht, bei dem die erste Feder dieses Fittichs die Länge der Lenkfeder erreicht (Fig. 13); wäh-

Fig. 3.

lung des Luftwiderstandes günstigere Form gewinnt. Beim Fluge

rend bei der Krähe, die keine solche Schwenkungen zu machen braucht, der Lenkfittich viel kürzer ist (Fig. 16. a).

III.

Gestaltung des Körpers.

§. 120.

Der mit Federn bedeckte Körper des Vogels bildet mit dem Halse und dem Schwanze eine für die Vorwärtsbewegung, zum Durchschneiden der Luft mit möglichst geringem Widerstande, zweckmäfsig gestaltete Form, die sich bei gestrecktem Halse am meisten der kegelförmigen nähert.

Bei den Vögeln beträgt die Länge des Körpers, von der Schnabelwurzel bis zum Ende des Schwanzes gemessen, das Drei- bis Vierfache der grössten Breite oder Höhe des Körpers an der Brust. Die schlankere Gestalt kommt in der Regel den besten Fliegern zu. Die Hälfte der Länge des Körpers vom Schnabel bis zur Schwanzwurzel macht beiläufig die Länge des Halses bis zur grössten Breite, wovon jedoch die langhalsigen Vögel eine Ausnahme machen. Die Höhe des Kegels, welchen der Hals mit der Brust bildet, beträgt also im Mittel das Doppelte der grössten Breite der Brust. Der Hinterkörper läuft nach rückwärts keilförmig in der Kante des Schwanzes aus, der vermittelt seiner zahlreichen Unterdeckfedern mit dem Bauche eine fortlaufende Ebene bildet. Die Federn bilden am Leibe eine dicht anliegende glatte Decke, wodurch ebenfalls der Reibungswiderstand an der Fläche ein geringstes wird. Durch die Hautmuskeln und die an der Spitze der Federspulen inserirenden kleinen Muskeln können die äufseren oder Deckfedern des Leibes mehr angezogen werden, und bei der Vorwärtsbewegung werden sie durch den Druck der Luft niedergedrückt, so dafs der Leib eine schlankere, folglich der Verminderung des Luftwiderstandes günstigere, Form gewinnt. Beim Fluge

werden die stark befiederten Oberschenkel des Vogels an den Leib gelegt, und die Unterschenkel mit den Füßen nach hinten in der Richtung des Schwanzes gestreckt. Durch diese Lage der Oberschenkel, und indem die längeren Federn des Deckfittichs sich an die Schwanzwurzel anlegen, erhält die Unterfläche des Leibes von der Brust an nach rückwärts nahe dieselbe Breite, wodurch die durch die Ober- und Unterfläche gebildete keilförmige Form entsteht, deren Schneide in dem Schwanzende liegt.

§. 121.

Der Schwanz der Vögel besteht in der Regel aus zwölf starken geraden Federn, in ihrer Form mit den Fächerfedern übereinstimmend. Die eine Hälfte dieser Federn liegt an der einen, und die andere an der anderen Seite des letzten, aufwärts stehenden, Schwanzwirbels. Die äußersten haben, wie die Fächer- und Schwungfeder, einen schmalen Bart, der nach auswärts liegt, und einen breiten, der von dem schmalen der nächstfolgenden Feder nach innen gedeckt wird; der schmale Bart wird jedoch mit jeder folgenden Feder breiter, so daß bei den mittleren Federn beide Bärte gleich werden; die sechste Feder der rechten Hälfte liegt in der Mitte und deckt alle übrigen. Vermöge dieser Bildung kann der Schwanz durch die beiderseitig wirkenden Schwanzmuskeln ausgebreitet werden, ohne daß leere Zwischenräume zwischen den Federn entstehen; und da bei dieser Ausbreitung in der Vorwärtsbewegung auf die beiden äußeren Federn in ihrer gegen die Axe des Vogels schiefen Lage der Luftwiderstand wirkt, so vermindern sie diesen mittelst der Schneiden des schmalen Bartes, wie bei den Schwungfedern. Bei kurzschwänzigen Vögeln, wie den Gänsen, besteht der Schwanz aus sehr vielen, büschelartig an und über einander gehäuften Federn, weil hier die eigentlichen Schwanzfedern mit den Unter- und Oberdeckfedern des Schwanzes, welche

die fortlaufende Fläche des Ober- und Unterkörpers bilden, zusammenfallen.

§. 122.

Die Länge des Schwanzes variirt bedeutend bei verschiedenen Vögeln. Denn er ist, wie bereits oben angegeben worden, das Steuer für die Auf- und Abwärtsbewegung des Vogels. Der Stofs der Luft auf denselben, wenn er unter einem Winkel mit der in der Horizontalebene liegenden Axe des Vogels geneigt ist, ist bei gleicher Geschwindigkeit gröfser oder kleiner, wenn er länger oder kürzer ist, folglich auch die Drehung des Körpers um seinen Schwerpunkt in der Vertikalebene nach auf- oder abwärts gröfser oder kleiner; und der Vogel kann diese Richtungen auch bei geringeren Neigungen des Schwanzes und bei geringerer Geschwindigkeit leichter bewirken bei gröfserer Länge desselben, als bei kürzerer. Je mehr überdem der Schwerpunkt nach vorn liegt, desto leichter hebt oder senkt der Impuls auf den Schwanz den hinter dem Schwerpunkte liegenden Theil des Körpers, desto geringer braucht folglich dieser Impuls für gleiche Richtungsänderung zu seyn. Die Länge des Halses des Vogels, durch welche der Schwerpunkt mehr nach vorn fällt, ersetzt sonach einen Theil der Länge des Schwanzes.

Langhalsige Vögel, wie Gänse, Reiher etc., haben daher bedeutend kürzere Schwänze als die kurzhalsigen, und unter diesen sind wieder diejenigen mit einer gröfseren Länge des Schwanzes begabt, welche schnelle Richtungsänderungen in ihrer Flugbewegung zu machen haben, wie die Falken. Die Länge des Schwanzes variirt im Allgemeinen von einem Fünftel bis zur Hälfte der ganzen Körperlänge von der Schnabelwurzel bis zum Schwanzende. Die Hälfte der Körperlänge nimmt der Schwanz bei den meisten Falken, den Weihen und mehreren kleinen Vögeln ein; bei den Adlern ist die Länge geringer, und noch mehr beim

Geier ($\frac{1}{3}$). Selbst bei Vögeln derselben Ordnung variiert die Schwanzlänge je nach der Lebensart. So ist beim Habicht die Schwanzlänge gröfser als bei den übrigen Falken, und da bei demselben zugleich der Lenkfittich sehr grofs ist, so ist er durch diese beiden Lenkmittel, von denen das erste in der Vertikalebene, das zweite in der Horizontalebene wirkt, in den Stand gesetzt, alle möglichen kurzen Wendungen und Schwenkungen im Fluge auszuführen, um seine Beute zu erhaschen und aufstofsenden Hindernissen auszuweichen.

§. 123.

In der Regel sind die mittleren Federn des Schwanzes etwas länger als die äufseren, so dafs bei mehr oder weniger ausgebreitetem Schwanze der Stofs der Luft hauptsächlich gegen den Theil desselben wirksam ist, welcher in der Längenaxe des Vogels liegt. Einige wenige, zum Theil durch schnelle Flugwendungen ausgezeichnete, Vögel haben Schwänze von der entgegengesetzten Form, nämlich sogenannte Gabelschwänze, bei denen die äufseren Federn eine gröfsere Länge haben, als die mittleren, wie die Schwalben. Bei der Mauerschwalbe z. B. haben die zwei längsten äufseren Federn des Schwanzes $2\frac{1}{2}$ Zoll, während die inneren nur eine Länge von $1\frac{1}{2}$ Zoll haben. Diese Einrichtung macht sehr geringe Änderungen der Richtung in der Vertikalebene möglich. Denn wenn der Vogel den Schwanz unter einem kleinen Winkel hebt oder senkt, so wirkt der Luftstofs nur auf die äufseren Federspitzen, und hebt oder neigt daher die Axe des Körpers nur sehr wenig, da er im Verhältnifs der geringen Fläche auch bei bedeutender Geschwindigkeit nur gering ist. Bei der gewöhnlichen Form des Schwanzes würden diese geringen Richtungsänderungen nicht wohl möglich seyn, da der Vogel für so geringe Unterschiede der Bewegung die Heber und Senker der Schwanzmuskeln zumal bei gröfseren Geschwindigkeiten nicht immer mit

der nöthigen Genauigkeit reguliren könnte, was sich, freilich als Ausnahme und in mehr auffallender Weise, bei einigen Taubenarten kund gibt, die sich im Fluge überschlagen, indem sie den Schwanz augenblicklich zu tief senken.

So wie die Hebung und Senkung, erfolgt auch die Ausbreitung des Schwanzes während des Fluges in beliebiger Gröfse durch die gleichseitige Wirkung der Seitenmuskeln des Schwanzes. Der unausgebreitete Schwanz bildet in der Regel ein Parallelogramm, im ausgebreiteten Zustande werden die Federn so weit entfaltet, daß ihre Enden aus einander stehen, wo dann die Sehne des Bogens, den die Enden der Schwanzfedern bilden, je nach der Länge des Schwanzes und der Breite der Federn, beiläufig das Zwei- bis Dreifache der gewöhnlichen Breite beträgt.

§. 124.

Die Vögel erneuern bekanntlich von Zeit zu Zeit ihre Federn durch das sogenannte Mausern. Dieses Mausern geschieht im freien Zustande wenigstens einmal im Jahre, indem die alten Federn nach und nach von den neu heranwachsenden abgestossen werden und sich so erneuern. Bei den Schwanz- und Flügelfedern geschieht diese Erneuerung mit einer bestimmten Regelmäßigkeit, indem mit derselben Feder, die auf der einen Seite des Schwanzes oder des einen Flügels ausfällt, auch gerade an der nämlichen Stelle auf der anderen Seite des Schwanzes oder im anderen Flügel die andere ausfällt. Ein neues Paar verliert der Vogel erst gewöhnlich dann, wenn das neue Federpaar erst beinahe vollständig herangewachsen ist. Diese Erneuerung erfolgt also in der Regel nur allmählig, und bei den großen Vögeln erfordert das Wachsthum einer Schwungfeder beinahe drei Monate. Diese Einrichtung entspricht der gleichmäßigen Wirksamkeit der beiden Brustmuskeln im Flügelschlage, durch welche die gleichmäßige Ausbreitung und Form der beiden Flügel bedingt ist.

Drittes Kapitel.

Von den Flugbewegungen.

Aus den bisherigen Untersuchungen läßt sich die Art und Weise, wie die Organe, welche beim Fluge der Vögel thätig sind, in den verschiedenen Flugbewegungen zusammenwirken, hinreichend deutlich erkennen.

§. 125.

Vermöge der Einlenkung des Oberarms in der Gelenkgrube des Schultergerüsts und der dadurch bedingten schiefen oder supinirten Stellung des Oberarms und Vorderarms, so wie vermöge der Einlenkungsart der Mittelhand mit dem Vorderarm (§. 25) liegt, wenn die Längsaxe des Vogelkörpers eine horizontale Lage hat, der gerade ausgestreckte Flügel ebenfalls in der Horizontalebene. Diese Lage wird während des Niederschlages des Flügels durch die Gegenwirkung des großen Deltamuskels und des kleinsten Brustmuskels gegen den großen Brustmuskel gesichert und regulirt (§. 37). Vermöge der schiefen Lage oder Richtung der Gelenkgrube, welche mit der schiefen Stellung des Ober- und Vorderarms oder mit dem Winkel, den der zwischen denselben ausgespannte Windfang mit der Horizontalebene macht, übereinstimmt (§. 32), ist die Richtung des Niederschlages des gestreckten Flügels, wenn der Vogelkörper horizontal liegt, senkrecht; dieser Bewegung kann jedoch vermöge der abgerundeten Form der Gelenkfläche des Oberarmbeinkopfes und der etwas erweiterten Gelenkgrube, und zwar mittelst der Wirkung des kleinsten Brustmuskels und der Gegenwirkung des großen und kleinen Deltamuskels (§. 36, 39), eine Richtung nach vorwärts oder rückwärts gegeben werden, so daß der Flügel in einer Richtung niederschlägt, welche nach vorwärts oder nach rückwärts mit der senkrechten einen kleinen Winkel macht.

§. 126.

Die Hebung des Flügels kann vermöge der Einlenkung des Oberarms in der Gelenkgrube des Schultergerüsts zu jeder Höhe, selbst bis zur lothrechten Lage des Flügels geschehen; aber die Abwärtsbewegung des ausgestreckten Flügels oder der Niederschlag kann nur höchstens bis zu etwa 40° mit der durch die Längsaxe des Vogels gelegten senkrechten Ebene Statt finden, weil die inneren und unteren Hervorragungen des Oberarmbeinkopfes dann durch das Schultergerüst die Grenze ihrer Bewegung finden. Nimmt man den größten Winkel unter der Horizontalebene zu 40° , so kann demnach die Niederbewegung des gestreckten Flügels von der senkrechten Stellung aus höchstens einen Winkel von 130° betragen.

§. 127.

Der Niederschlag des Flügels, und, nach Vollendung desselben, seine abermalige Erhebung, der Rückschlag, bilden die wesentlichen Flügelbewegungen. Durch den Niederschlag des Flügels wird in der Luft der Widerstand bewirkt, vermöge dessen sich der Vogel hebt und vorwärts schiebt; durch den Rückschlag wird der Flügel wieder in seine höchste Lage zurück gebracht, von welcher aus der neue Niederschlag beginnt. Diese Zurückführung des Flügels in seine vorige oder erhobene Lage muß nothwendig auf eine Art geschehen, daß dadurch der Luftwiderstand möglichst vermieden wird, weil dieser Widerstand mit dem vorigen in entgegengesetzter Richtung wirkt, folglich die durch den Niederschlag erzeugte Wirkung um die Größe jenes entgegengesetzten Widerstandes würde vermindert werden. Würde daher der Flügel in der gestreckten Lage, die er beim Niederschlage hat, im Rückschlage wieder aufwärts bewegt, so würde die durch den ersteren für die Hebung gewonnene Kraft ganz oder größtentheils wieder aufgehoben, und es könnte kein Flug Statt

finden, oder wenigstens nur ein sehr unvollkommener mit großem Kraftverluste; während die Flugbedingung um so vollkommener erreicht wird, je mehr der schädliche oder entgegengesetzte Widerstand im Rückschlage beseitigt ist. Bei den Flügeln der Vögel ist diese Bedingung dadurch erreicht, daß der gestreckte Flügel, nachdem er am Ende des Niederschlages die tiefste Lage erreicht hat, zusammengezogen, und in dieser eingezogenen Lage nach aufwärts gebracht oder umgerollt wird, für welchen Zweck die ganze Flügeleinrichtung hinwirkt.

§. 128.

Wenn also der gestreckte Flügel seine tiefste Lage erreicht hat, so wird er in dieser Lage eingezogen, und zwar in gleichzeitiger Wirkung der Oberarm durch den Schulterblattmuskel (§. 38) unter Gegenwirkung des kleinen Deltamuskels (§. 39), der Vorderarm durch den inneren Armmuskel (§. 47) und den zweiköpfigen Armmuskel (§. 46), die Mittelhand durch den langen und kurzen Mittelhandbeuger (§. 55, 56) und der grofse Finger durch den Beuger des grofsen Fingers (§. 62). Durch diese gleichzeitigen Bewegungen wird die Schwinge unter den Fächer und dieser an den Deckfittich gezogen (§. 95), ohne daß dabei noch eine Hebung des Flügels Statt findet, so daß sich nun der Flügel in der tiefsten Lage des Niederschlages im eingezogenen Zustande befindet, nämlich der Oberarm am Leibe liegt, der Vorderarm am Oberarm und die Mittelhand am Vorderarm.

Unmittelbar darauf erfolgt die Hebung, indem durch den kleinen Brustmuskel (§. 40) der Oberarm umgerollt wird, so daß sich mit ihm Fächer und Schwinge heben oder umdrehen. Diese Stellung des Oberarms, oder diese Erhebung wird dem Grade nach durch die Gegenwirkung des Schulterarmmuskels (§. 41) bestimmt. In dieser Lage, nämlich unmittelbar nach der Wirkung des kleinen Brustmuskels, hat der eingezogene Flügel dieselbe Stellung, als

wenn er in der höchsten Lage seiner Streckung wäre eingezogen worden. Indem er nun ausgestreckt wird, nimmt er unmittelbar diese der höchsten Lage vor dem Niederschlage entsprechende Stellung ein. Es zieht nämlich der kleine Deltamuskel (§. 39) unter Mitwirkung des grossen Deltamuskels, der den Oberarm in seiner Lage hält, den Oberarm nach vorn, so daß er sich vom Leibe entfernt; zugleich wirkt der längere und kürzere Strecker des Vorderarms (§. 43, 44) unter Gegenwirkung des zweiköpfigen Armmuskels (§. 46), wodurch sich Oberarm und Vorderarm unter ihren Winkel stellen und sich der Windfang ausspannt; zugleich wirkt der lange und kurze Mittelhandstrecker (§. 52, 53) zur Streckung der Mittelhand, wodurch sich der Fächer und ein Theil der Schwinge entfaltet, unter Gegenwirkung des Antagonisten des langen Mittelhandstreckers (§. 54), wodurch die Fächerfedern in der Ebene des Flügels festgehalten werden. Zugleich wirkt der Strecker des grossen Fingers (§. 58) und mit ihm sein Rückwärts-wender (§. 60), wodurch die Schwinge in der parallelen oder jalousienartigen Stellung ihrer Federn, die mit der Schneide ihres schmalen Bartes die Luft durchschneiden, nach aussen entfaltet wird. Unmittelbar darauf und im Beginne des Niederschlages wirkt der Vorwärtswender des grossen Fingers (§. 59), wodurch sich die äussere Schwinge ausbreitet, und eine nach vorn gewölbte Lage erhält, und zwar unter Gegenwirkung des Beugers des grossen Fingers (§. 62) als Antagonisten seines Streckers, zur Festhaltung der Schwungfedern in der Flügelebene. Zur Vorlegung des Lenkfittichs wirken der lange und kurze Daumenstrecker (§. 63, 64), und zur Verschiebung der Lenkfeder der obere Mittelhandmuskel (§. 66).

Diese Muskelbewegungen geschehen nahe gleichzeitig, und dadurch hat der Flügel beinahe augenblicklich seine volle Entfaltung und Streckung in der höchsten Lage erreicht, ohne daß da-

durch ein schädlicher oder dem Luftwiderstande des Niederschlages entgegengesetzter Widerstand hervorgebracht worden wäre. Denn der sehr geringe Widerstand, welcher bei der Ausstreckung des Flügels auf die Schneiden der getrennten Schwungfedern entsteht, wirkt gegen die Axe des Vogelkörpers, wo er sich, da die Bewegungen beider Flügel gleichzeitig und gleichmäfsig geschehen, grösstentheils aufhebt.

§. 129.

Unmittelbar nach dieser Streckung erfolgt der Niederschlag des Flügels. Die vorigen Muskeln sammt den sekundären zur Steifung der Flügelglieder dienenden bleiben gespannt, und der grofse Brustmuskel bewirkt den Niederschlag, indem der grofse Deltamuskel, der kleinste Brustmuskel, und zum Theil der breite Rückenmuskel (§. 42) die Lage des Oberarms und sonach des Flügels in Beziehung auf die Horizontalebene sicher stellen. Die Gröfse dieses Niederschlages oder des Schlagwinkels, d. i. des Winkels, welchen der Flügel in seiner höchsten Lage zu Anfang des Niederschlages, und in seiner tiefsten zu Ende desselben macht, und der im Maximum 130° betragen kann (§. 126), ist durch den Antagonismus des Schulterarmmuskels (§. 41) gegen den kleinen Brustmuskel, und des grofsen Deltamuskels gegen den grofsen Brustmuskel gegeben. Nach der Beendigung des Niederschlages erfolgt die Einziehung und Hebung des Flügels nach der vorher beschriebenen Weise.

§. 130.

An die Stelle dieses mit völlig gestrecktem Flügel bewerkstelligten Fluges tritt in mehreren Fällen die Flugbewegung mit partieller Flügelstreckung, bei welcher nämlich der Flügel im nicht völlig gestreckten Zustande niedergeschlagen wird. In diesem Falle wird durch die verminderte Gegenwirkung des kleinen Deltamuskels gegen den Schulterblattmuskel der Oberarm weniger vom

Leibe entfernt, und durch den zweiköpfigen und inneren Armmuskel in ihrer Wirkung gegen den Strecker des Vorderarms die Streckung des letzteren oder dessen Winkel mit dem Oberarm beliebig vermindert, und in dem Maße der Windfang verkleinert, dessen Sehnenhaut sich zur kleineren Fläche zusammenzieht. Der Fächer ist dadurch beim Niederschlage mehr oder weniger eingezogen, aber die Schwinge entfaltet, vermöge der Wirkung des langen Mittelhandstreckers und seines Antagonisten und der von der Streckung der Mittelhand unabhängigen Wirkung des Streckers des grossen Fingers und seines Beugers als Antagonisten (§. 58). Durch diese Flügelverkürzung kann daher der Vogel den Windfang, der ein Mittel der Vorwärtsbewegung ist, indem er in seiner gespannten Stellung beim Niederschlage den Druck der Luft nach vorwärts auffängt, so weit verkleinern, daß seine Wirkung sehr vermindert und selbst unbedeutend wird, und indem er nun der Flügelfläche durch Niederziehung der Federn eine etwas nach vorwärts gewendete Lage gibt, wobei der Vorwärtswender des grossen Fingers ruht, vermag er durch schnellere, der Flügelverkürzung entsprechende, Flügelschläge sich in der Luft an einer Stelle zu erhalten, wie man dieses bei mehreren Vögeln sieht, indem sie ritteln, flattern, wie beim Thurmfalken (Rittelfalken), der Mauerschwalbe und mehreren kleinen Vögeln. Auch wenn grössere, mit langen Flügeln versehene Vögel mit geringerer Geschwindigkeit vorwärts wollen oder ihren Flug mässigen, etwa in der Verfolgung ihres Raubes oder dem Aufsuchen ihrer Nahrung, fliegen sie mit ähnlich verkürzten Flügeln, und dabei ganz oder auch zum Theil gestreckten Schwingen, wie die Möven, Schwalben.

§. 131. Bei einigen Vögeln, bei denen dieses flatternde Schweben

für ihre Nahrungsweise einen wesentlichen Theil ihrer Flugbewegung ausmacht, wie bei den Kolibris, die summend über den Blu-

menkelchen schweben, hat die Natur diese partielle Flügelstreckung durch sehr kurze Armknochen und lange Schwungfedern (§. 43) überflüssig gemacht, so daß diese Vögel in ihrem Flattern keine schnelleren Flügelschläge zu machen brauchen, als außerdem. Denn da die Wirkung des Windfanges hier unbedeutend ist, so erhält sich der Vogel durch senkrechte Flügelschläge schwebend, indem die Pronatoren des ersten und zweiten Gliedes des großen Fingers ruhen; und er kann augenblicklich unter denselben Flügelschlägen schnell vorwärts schießen, indem der Vorwärtswender des großen Fingers wirkt, der die äußeren Schwungfedern nach vorn wölbt, und indem die Lenkfeder durch den oberen Mittelhandmuskel beiderseitig vorgelegt wird. In diesem Flugmechanismus nähern sich diese kleinen Vögel den zweiflügeligen Insekten (Dipteren), bei denen der ganze Flügel zur Schwinge wird, indem Ober- und Vorderarm verschwinden, und nur als Knochengelenke auftreten, die zur Bewegung der Schwinge dienen.

§. 132.

Durch den Niederschlag des Flügels wird der Vogel nicht nur gehoben und schwebend erhalten, sondern auch durch den Stoß der Luft auf die Theile des Flügels, welche mit der Ebene, auf welche die Kraft des Niederschlages, die zur Hebung wirksam ist, senkrecht wirkt, einen Winkel machen, in der Richtung seiner Längsaxe vorwärts geschoben; weil der durch die Geschwindigkeit des Niederschlages erzeugte Luftwiderstand auf diese Theile mit derselben Kraft wirkt, als auf die übrigen, welche zur Hebung wirksam sind. Diese Theile werden gebildet: 1) an der vorderen Flügelkante durch die zwischen dem Ober- und Vorderarm gespannte Windfangshaut, von welcher der sich über die Mittelhand und das erste Glied des großen Fingers legende Lenkfittich, und dann die Lenkfeder gleichsam die Fortsetzung in nach der Spitze des Flügels zu abnehmender Breite bilden; 2) durch

die schiefe Stellung der Ruderfedern bei den Ruderflügeln, oder die gewölbartig vorwärts gebogenen äusseren Schwungfedern bei den Schnellflügeln, in beiden Fällen mittelst der Wirkung des Streckers und des Vorwärtswenders des grossen Fingers (§. 58, 59). Diese Wirkungen finden in vollem Masse nur bei der vollen Flügelstreckung Statt, daher auch nur bei dieser der Vogel die grösste Geschwindigkeit bei einer bestimmten Geschwindigkeit der Flügelschläge erreichen kann.

§. 133.

Durch die Veränderung der Lage dieser auf die Vorwärtstreibung wirkenden Flügeltheile hat es daher der Vogel auch bei derselben Zahl von Flügelschlägen noch ausser dem oben angegebenen Mittel (§. 130) in der Gewalt, seine Geschwindigkeit beliebig zu vermindern. Durch die Nachlassung der Spannung des Windfanges, die Einziehung des Lenkfittichs und der Lenkfeder, durch die etwas nach vorn geneigte Stellung der Flügelebene, durch die Zurückziehung der Ruderfedern oder Verminderung der Wölbung der Schwinge vermöge der überwiegenden Wirkung des Beugers des grossen Fingers gegen seinen Vorwärtswender, kann der Vogel die Wirkung jener auf die Vorwärtstreibung wirkenden Flügeltheile vermindern und selbst aufheben, so dass dann seine Flügelschläge nur noch hauptsächlich für die Hebung wirken. Es ist dieses, zumal bei den Schnellflüglern, der Fall, wenn der Vogel unter einem grösseren Winkel aufsteigen will.

§. 134.

Hat der Vogel eine gewisse Geschwindigkeit erreicht, so kann er vermöge derselben ohne Flügelschlag eine Strecke vorwärts schiefsen, indem er dabei die Flügel nach der schon oben erwähnten Weise einzieht, um den Widerstand vorwärts zu vermindern. Hält der Vogel mittelst der Wirkung derselben Muskeln, welche beim Niederschlage thätig sind, die Flügel horizontal ausgestreckt,

mittelst der Gegenwirkung des grossen Deltamuskels gegen den grossen Brustmuskel, so schwebt er mit der erlangten Geschwindigkeit vorwärts und abwärts, indem er im Sinken durch den von der Fallgeschwindigkeit erzeugten Widerstand auf den völlig gestreckten Flügel eine neue Geschwindigkeit vorwärts erhält (§. 226). Bei dieser schwebenden Bewegung ist der Schwanz jederzeit völlig entfaltet, und seine Fläche bildet mit der Fläche des Unterleibes und der Flügelfläche, im Verhältniss zum Gewicht des Vogels, eine so bedeutende Fläche, dass der Vogel nur langsam niedersinkt, und, aus einer bedeutenden Entfernung gesehen, horizontal fortzuschweben scheint.

§. 135.

Die Lenkung des Vogels in der Horizontalebene geschieht durch den Lenkfittich (§. 96, 97) und die Lenkfeder (§. 66, 67), während eines Flügelschlages. Bleibt der Lenkfittich des einen Flügels mittelst des Daumenstreckers vorgelegt, während jener des andern Flügels mittelst des Daumenbeugers eingezogen wird, so wirkt auf des ersteren hohle Fläche der im Niederschlage erzeugte Stoss oder Druck der Luft, und der Vogelkörper dreht sich horizontal um seinen Schwerpunkt, welche Drehung um so kürzer und schneller ist, je heftiger der Niederschlag und je grösser die Fläche des ausgebreiteten Lenkfittichs. Auf diese Art kann der Vogel sehr kurze Wendungen machen, sich plötzlich um eine rechtwinklige Ecke drehen und durch wiederholten Flügelschlag in einer ganz kurzen Wendung auf dem Wege zurückkehren, auf dem er gekommen ist.

Die einseitig mittelst des oberen Mittelhandmuskels vorgelegte Lenkfeder bewirkt vermöge ihrer grösseren Entfernung die Wendung in einem grösseren Bogen, folglich nach dem Grade ihrer Ausbreitung in einer beliebig grossen Krümmung von der geraden Richtung. Übrigens leistet die Lenkfeder diese Wirkung nur ver-

möge ihrer Pronirung, welcher sie durch die Wirkung des Vorwärtswenders des grossen Fingers gleichmäfsig mit den nächstliegenden Schwungfedern unterworfen ist, deren geneigte Stellung, wenn diese einseitig erfolgt, daher ebenfalls mit zu dieser Wendung beiträgt; was vorzüglich bei den Schnellflügeln der Fall ist, bei welchen die Lenkfeder den Rand der nach vorwärts gerichteten bogenförmigen Fläche bildet. Bei dieser äufseren oder im gröfseren Bogen erfolgenden Wendung mufs daher an dem Flügel, der den Bogen beschreibt, während eines Niederschlages ausser dem oberen Mittelhandmuskel, als Vorwärtsschieber der Lenkfeder, auch der Vorwärtswender des grossen Fingers thätig seyn, wie es im gestreckten Fluge immer der Fall ist, während an dem anderen oder inneren Flügel statt des Vorwärtsschiebers der Einzieher der Lenkfeder wirksam ist. Bei dieser Bewegung hebt sich dann der äufsere Flügel etwas, d. i. die durch beide Flügellängen gezogene Linie macht mit der horizontalen einen Winkel, weil bei gleichem Niederschlage beider Flügel der äufsere durch die Lage der Lenkfeder eine etwas gröfsere Fläche erhält. Diese Neigung ist um so kleiner, je gröfser der Bogen, und umgekehrt, weil die Gröfse der Wendung und die geringe Vermehrung jener Fläche gleichmäfsig von der Lage abhängen, die der Lenkfeder gegeben ist. Diese Bewegungsart hat der Vogel, indem er in grossen Kreisen aufwärts steigt oder sich niederläfst. Im letzteren Falle schwebt er mittelst der durch die ausgestreckten Flügel und den entfalteten Schwanz gegebenen fallschirmähnlichen Fläche durch die Schwere nieder, und macht nur von Zeit zu Zeit einen Flügelschlag, um nach der hier angegebenen Weise die bogenförmige Richtung einzuhalten. Wenn bei den gestreckten Flügeln, wie in manchen Fällen beim Steigen, der Vorwärtswender des grossen Fingers beiderseitig ruht, dagegen der obere Mittelhandmuskel beiderseitig wirkt, so ist die Lenkfeder beiderseitig ohne Pronirung vorwärts

geschoben, und dient dann nur zur Vergrößerung der äußeren Flügelfläche, so wie auf ähnliche Art der beiderseitig vorgelegte Lenkfittich nicht zur Wendung, sondern zur Vergrößerung der zur Vorwärtsbewegung wirkenden Flügelkante dient. Die einseitig vorgeschobene Lenkfeder dient endlich auch zur Ausgleichung kleiner Differenzen in der Fläche beider Flügel bei dem mit gleichmäßiger Stärke erfolgenden Niederschlage, welche Differenzen übrigens auch der Vogel durch beliebige Übereinanderschlebung der Schwungfedern mittelst des Beugers des großen Fingers (§. 62) instinktmäßig ausgleicht.

§. 136.

Die Lenkung des Vogels in der Vertikalebene geschieht, wie schon früher bemerkt worden, durch die Hebung und Senkung des Schwanzes. Durch die Hebung unter einem beliebigen Winkel erhält durch den Luftstoß auf dessen Fläche die Längsaxe des Vogels eine Richtung nach aufwärts, durch die Senkung nach abwärts. Bei dieser Wirkung ist der Schwanz nicht entfaltet, wenn der Vogel nicht im Schweben begriffen ist. Die mannigfaltigsten Abänderungen in den Flugbewegungen werden nur durch diese einfache Funktion des Schwanzes bewirkt.

§. 137.

Die Längsaxe des Vogels, wenn dessen Flug bereits eingeleitet ist, liegt jederzeit in der Richtungslinie seiner Vorwärtsbewegung; sie ist z. B. horizontal, wenn letztere horizontal ist, oder liegt unter demselben Winkel mit der horizontalen, unter welchem die Bewegung vorwärts geschieht. Der Schwanz liegt dabei in derselben Ebene. Vertikal oder nahe vertikal zu dieser Ebene geschieht der Flügelschlag. Diese mit der Flügelbewegung konstante Richtung des Vogelkörpers oder diese Äquilibrirung erfolgt hauptsächlich durch die Wirkung des breiten Rückenmuskels (§. 42), der im Niederschlage oder bei steif gestrecktem Flügel (im Schweben

ben) an dem durch den grossen und kleinsten Brustmuskel, den grossen und kleinen Deltamuskel steif gehaltenen Oberarm festhaltend, den durch den verknöcherten Rücken steifen Hintertheil des Körpers in die Höhe zieht.

§. 138.

Mit jedem hinreichend starken Niederschlage der Flügel durch die Kontraktion der am Oberarmbeinköpfe wirkenden Brustmuskeln erfolgt eine Hebung des Vogelkörpers durch die Reaktion der Brustmuskeln auf das Brustbein, an dem sie befestigt sind, indem sie dieses mit demselben Kraftmomente heben, mit welchem sie den Oberarmbeinkopf niederziehen. Von dieser absoluten Hebung geht während der Zeit des Rückschlages, in welcher die Wirkung zur Hebung aufhört, und jene der Schwere eintritt, ein Theil verloren, und eine effektive Hebung kann nur erfolgen, wenn die Zeit dieses Rückschlages so kurz ist, dass der Fallraum während des letzteren kleiner ist, als die Hebung durch den Niederschlag. Mit dieser effektiven Hebung würde der Vogel bei gleichmässig fortgesetzten Flügelschlägen vertikal steigen, wenn der Niederschlag selbst ihm nicht zugleich nach (§. 132) eine Bewegung vorwärts, oder eine gewisse horizontale Geschwindigkeit ertheilte. Vermöge dieser beiden Bewegungen, der horizontalen und senkrechten, steigt daher der Vogel in einer schiefen Linie aufwärts, deren Winkel mit der horizontalen um so grösser ist, je grösser die effektive Hebung und je geringer die Geschwindigkeit, oder umgekehrt. Um daher einen grösseren Steigungswinkel zu erhalten, muss der Vogel diese Geschwindigkeit mässigen, durch Anwendung der in §. 133 angegebenen Mittel, was besonders bei den Schnellflüglern der Fall ist. Die grossen Ruderflügler steigen daher bei vollem Fluge unter einem geringen Winkel, und sie sind genöthigt, sich in einer Schneckenlinie zu erheben, wenn sie eine bedeutende Höhe erreichen wollen, ohne sich weit von dem Orte zu entfernen. Die Schnellflügler machen dagegen gewöhnlich ihre schiefe Linie in

gerader Richtung, um ihre Höhe zu erreichen. Ist diese bedeutend, so machen sie zur Schonung des Kraftaufwandes ihre Steigung absatzweise. Nachdem sie nämlich eine gewisse Höhe in gerader Steigung erreicht, ziehen sie mit erneuertem Flügelschlage horizontal fort, erlangen hierdurch eine gröfsere Geschwindigkeit, und treten mit dieser durch Hebung des Schwanzes die zweite Steigung an, entweder gerade aus, oder vermöge der horizontalen Wendung in einer verschiedenen, z. B. der vorigen entgegengesetzten Richtung, wenn sie sich vom Orte ihres Ausganges nicht entfernen wollen.

Je kleiner die Vögel werden, desto schneller werden ihre Flügelschläge, in desto kürzerer Zeit erhalten sie also ihre volle Geschwindigkeit vorwärts, welche sie nun zur Steigung benützen, indem sie durch Hebung des Schwanzes mit der erlangten Geschwindigkeit in schiefer Richtung aufwärts gehen. Durch diese Umwandlung der horizontalen Bewegung in die senkrechte ersetzen sie den Mangel der geringen Hebung, die ihrem Flügelschlage zukommt. Die näheren Bedingnisse dieser Bewegungen werden im zweiten Theile gegeben.

§. 139.

Wenn der Vogel sich in schiefer und gerader Richtung niedersenkt, so setzt er sich in diese schiefe Richtung durch die Senkung des Schwanzes, zieht die Schwinge ein, und fährt nun mit der Anfangsgeschwindigkeit, die er vorher im horizontalen Fluge erlangt hatte, vermöge der Schwere in beschleunigter Bewegung nieder. So thut der Raubvogel, wenn er auf seinen Raub stößt. Mit der Geschwindigkeit, die er am Ende dieses schiefen Falles erlangt hat, kann er sich wieder auf einen Theil derselben Höhe erheben, indem er durch Hebung des Schwanzes der Längenaxe die schiefe Richtung nach aufwärts gibt. Will der Vogel, im tiefsten Punkte dieser Falllinie angelangt, horizontal vorwärts ziehen, so gibt er

sich durch geringe Hebung des Schwanzes die horizontale Richtung, breitet den Schwanz und die Flügel aus, und fährt nun schwebend mit der durch den Fall erlangten Geschwindigkeit eine bedeutende, dieser Geschwindigkeit entsprechende Strecke vorwärts, bis er bei der allmähig durch den Widerstand der Luft verminderten Geschwindigkeit seine Flügel wieder in Bewegung setzt. Kleine Vögel fliegen häufig in solchen Wellenlinien, die ihren Brustmuskeln Zwischenzeiten der Ruhe gestatten. Mit schnellen Flügelschlägen heben sie sich in einer schiefen Linie auf die vorhin angegebene Weise, sinken in der ähnlichen Linie vermöge der Schwanzrichtung bei eingezogener Schwinge wieder herab; erheben sich wieder mit der erlangten Fallgeschwindigkeit u. s. f. Mit derselben Flügelbewegung bei ungeänderter Schwanzrichtung machen diese Vögel auch ihren Flug in gerader Linie; sie gehen einige Sekunden lang mit Flügelschlägen vorwärts, schießen dann vermöge der erlangten Geschwindigkeit eine Strecke mit eingezogenen Flügeln vor, machen dann wieder Flügelschläge u. s. f.

§. 140.

Wenn der Vogel im horizontalen Fluge unerwartet an ein Hinderniß stößt, dem er nicht mehr ausweichen, und über das er sich nicht erheben kann, so erhebt er sich vermöge der erlangten Geschwindigkeit senkrecht, vermittelt der Hebung des Schwanzes, so daß seine Längsaxe senkrecht ist; senkt dann den Schwanz in einer Höhe, wo er noch hinreichende Geschwindigkeit aufwärts hat, wodurch er wieder die horizontale Lage gewinnt, indem er zugleich die Flügel schlägt, und mit einseitiger Vorlegung des Lenkfittichs seinen Rückweg nach der einen oder anderen Seite nimmt. Der Verfasser hat diese interessanten, von der instinktmäßigen Genauigkeit, mit welcher der Vogel die Richtungen des Schwanzes zu beherrschen im Stande ist, zeugenden Flugbewegungen öfters beobachtet, als er an einem von einer Wand hoher

Fichten geschlossenen Waldsäume einen Uhu aufgestellt hatte, über welchen Falken und Boussarde hinschossen.

Ähnliches geschieht häufig von den kleinen Vögeln, wenn sie sich schnell auf einen mäßig erhöhten Gegenstand erheben wollen, z. B. von einem Sperling, der am Fusse einer fünf bis sechs Fufs hohen Mauer sitzt; er macht einige schnellere Flügelschläge, wobei er den Vorderleib in die Höhe richtet und fährt mit der durch diese Flügelschläge erlangten Geschwindigkeit, mit an den Leib gelegten Flügeln, auf oder über die Mauer. Auch gröfsere Vögel, z. B. Tauben, verfahren auf ähnliche Weise, wenn sie im Fluge unterhalb der Höhe eines Gegenstandes ankommen, auf den sie sich setzen wollen. Durch die Hebung des Schwanzes steigen sie mittelst der erlangten Geschwindigkeit in einer wenig geneigten Richtung mit eingezogener Schwinge aufwärts, und lassen sich mit wieder ausgebreiteten Flügeln langsam nieder.

§. 141.

Wenn der Vogel seinen Flug beginnt, hängt die Art seiner Flugbewegung von dem Umstande ab, ob er von der Erde auf- fliegt, oder sich bereits auf einer Erhöhung, z. B. einem Baume, einer Mauer, einem Steine, befindet. Fliegt er von der Erde auf, so muß er mit gestrecktem Flügel starke und schnelle Niederschläge, besonders unter einem grofsen Schlagwinkel, machen, um sich zu heben und eine Geschwindigkeit nach vorwärts zu erhalten. Im ersten Augenblicke der Hebung ist der Leib etwas nach rückwärts hängend, der jedoch bald, vermöge der Wirkung des breiten Rückenmuskels, eine horizontale Lage annimmt. Für den ersten Niederschlag des gestreckten Flügels ist der nöthige Raum erforderlich; die Vögel machen daher gewöhnlich zugleich mit dem ersten Flügelschlage einen Sprung aufwärts, um diesen Raum zu gewinnen, was ihnen durch die starken Muskeln ihrer Beine und durch die eigenthümliche Verlängerung des Fufswurzel-

den Flügelschlag ein und schwel, damit bis dahin seine Ge- 9

knöchens ohnehin erleichtert wird. Dieser Sprung braucht um so kleiner zu seyn, je kürzer verhältnißmäfsig die Flügel des Vogels sind. Auch hebt der Vogel beim Auffluge die Flügel höher als beim gewöhnlichen Fluge, wodurch für die hinreichende Wirkung er weniger tief unterhalb der Horizontallinie niederschlagen braucht. Bei den Tauben z. B. klatschen bei dieser ersten Hebung die Flügel oben zusammen. Andere Vögel erhalten den nöthigen Raum für den Flügelschlag beim Auffluge durch die Länge ihrer Beine, wie der Storch, Kranich, Reiher. Einige Vögel mit kurzen Flügeln nehmen vor dem Auffluge einen Anlauf auf der Erde, wie die Trappen, oder auch auf dem Wasser, wie die Steifsfüße. Durch den Widerstand der Luft, welcher bei dieser Geschwindigkeit auf den schief liegenden Unterleib und Schwanz des Vogels Statt findet, vermindert sich sein Gewicht, so dafs nun die ersten Flügelschläge ihn um so leichter zu heben vermögen, wobei seinem Fluge die bereits durch den Anlauf erlangte Geschwindigkeit zu gut kommt.

Am leichtesten setzt sich der Vogel von einer Erhöhung aus in den Flug, und er wählt daher immer, so viel möglich, diese Stellung. Er springt dann gerade herab und beginnt unmittelbar den Flügelschlag. Ist die Höhe bedeutend, so benützt er dieselbe, um sich sogleich eine ansehnliche Fluggeschwindigkeit zu verschaffen, indem er sich mit eingezogenen Flügeln herabstürzt, nach einer gewissen Fallhöhe die Flügel ausbreitet, und mit der durch den Fall erlangten Geschwindigkeit mit raschem Flügelschlage fortzieht oder auch in schiefer Richtung aufwärts steigt.

§. 142.

Will sich der Vogel nach dem Fluge niedersetzen, so geschieht dieß jederzeit langsam und vorsichtig, um seine Füße nicht zu beschädigen. Zu diesem Behufe stellt er in einiger Entfernung von dem Gegenstande, auf dem er sich niederlassen will, den Flügelschlag ein und schwebt, damit bis dahin seine Ge-

schwindigkeit erschöpft werde. Kommt er noch mit einiger Geschwindigkeit an, so steigt er mit derselben über dem Ruheplatze durch Hebung des Schwanzes etwas in die Höhe, und läßt sich dann erst, unter mäfsigem Flügelschlage oder schwebend, entweder mit horizontal ausgestreckten, oder mit unter einem Winkel aufwärts gerichteten Flügeln, nieder.

§. 143.

Ein mäfsiger, der Richtung des Fluges entgegengesetzter Wind erleichtert wesentlich den Flug des Vogels im Steigen. In diesem Falle gibt der Vogel der Längenaxe seines Körpers eine schiefe Richtung gegen die Richtung des Windes unter einem kleinen Winkel und macht seinen Flügelschlag mit ausgebreitetem Schwanze. Die Windströmung auf die bedeutende Unterfläche hebt einen Theil des Gewichtes des Vogels auf, so dafs er dabei in einer steileren Steigung sich erheben kann, als ausserdem bei gleichem Kraftaufwande.

Das nähere Detail dieser Bewegungen mit den sie begründenden Gesetzen wird im zweiten Theile erörtert und nachgewiesen.

§. 144.

In den Fledermäusen hat die Natur den Flugmechanismus mit der geringsten Änderung der Säugthier-Konformation ausgeführt, indem die Federflügel durch eine kontraktile, zwischen den Armen und verlängerten Fingern ausgespannte, Hautduplikatur, ähnlich der Windfangshaut bei den Vögeln, ersetzt sind. Die Einlenkungsart des Oberarms und dessen Verbindung mit dem Vorderarm unter einem Winkel in einer aufwärts gerichteten Stellung bei der Flügelstreckung sind dieselben, wie beim Vogel, und zwischen jenen Knochen ist, wie bei diesem, die Windfangshaut ausgespannt. Die Schenkelmuskeln sind schwach, dagegen die Brustmuskeln um so stärker. Die Hand trägt ausser dem Daumen vier langgestreckte gegliederte Finger, zwischen denen die äussere Flügelhaut, welche die Schwinge vorstellt, ausge-

breitet ist. Der mit einem Nagelgliede als Haken versehene Daumen steht frei, und dient nur zum Anklammern des Thieres. Der erste kürzere Finger lenkt sich am äusseren Theile des zweiten längeren ein, mit dem er durch die Haut verbunden ist, und ist vor- und rückwärts beweglich, gleich dem zweiten Gliede des grossen Fingers der Vögel, so dass er die an diesem befestigte Lenkfeder ersetzt, indem er mittelst der von ihm dirigirten Haut auf gleiche Art wirkt, und nicht nur zur Lenkung dient, sondern auch die Fortsetzung des Windfanges bildet. Der vierte Finger läuft nahe parallel mit der Längsaxe des Körpers und begrenzt die dem Fächer des Vogelflügels entsprechende, zwischen diesem Finger, dem Rumpfe und den ausgestreckten Füßen ausgespannte Flügelhaut. Vermittelst der Gliederung dieser Finger gibt das Thier dem Hautflügel eine Bewegung nach abwärts, der Wirkung des Antagonisten des langen Mittelhandstreckers der Vögel (§. 54) entsprechend. Den Schwanz ersetzt die zwischen den Füßen ausgespannte, durch eine gegliederte Gräte in der Richtung der Längsaxe ausgespannte Haut, welche sonach in beliebigem Grade auf- und abwärts gerichtet werden kann.

Die Einziehung, Hebung, Entfaltung und der Niederschlag des Flügels (der Niederschlag und Rückschlag) sind dieselben, wie beim Vogel. Die Ausstreckung des Flügels vor dem Niederschlage kann jedoch wegen der zusammenhängenden Flughaut nicht mit demselben geringen Widerstande geschehen, wie dieses beim Vogel durch die parallele Sonderung der Schwungfedern mittelst des Rückwärtswenders des grossen Fingers (§. 60) geschieht; und hierin, so wie in dem Mangel des Lenkfittigs, liegt wohl der wesentliche Grund des Unterschiedes, der zwischen dem Fluge der Fledermaus und jenem der Vögel bemerkbar ist. Dass die Fledermaus weder eine grosse Höhe, noch eine grosse Geschwindigkeit erreicht, kann dem Umstande zugeschrieben werden, dass sie mit der Säugthierlunge versehen ist.



Mechanik des Fluges.

Zweiter Theil.

Mechanik des Fluges.

Erstes Kapitel.

Vom Widerstands der Luft.

§. 143.

Das widerstehende Mittel, durch welches sich der Vogel erhebt und fortbewegt, ist die Luft. Indem nämlich der Kontraktion des großen Brustmuskels der ausgebreitete Flügel nachwärts bewegt wird, wird der Geschwindigkeit dieser Niederachtlages angemessen ein Widerstand erzeugt, welcher der Aktion des Muskels als Stützpunkt dient. Indem nämlich der große Brustmuskel in seiner Verkürzung den Flügel um der dem Umdrehungspunkte nahe

... als Baken verschiedene Dornen ...
 ... des Thieren. Der erste ...
 ... des zweiten längeren ein, ...
 ... ist, und ist vor- und rück- ...
 ... des großen Fingers der ...
 ... Lenkfeder ersetzt, indem ...
 ... auf gleiche Art wirkt, und ...
 ... die Fortsetzung der Wind- ...
 ... parallel mit der Längs- ...
 ... des Fächer des Vogelflügels ...
 ... dem Rumpfe und des ...

Zweiter Theil.

... der Ge- ...
 ... Bewegung ...
Mechanik des Fluges. ...
 ... Des Schwanz ersetzt ...
 ... durch eine gegliederte Gräte ...
 ... Haut, welche so- ...
 ... auf- und abwärts gerichtet werden kann.

Die Hebung, Hängung, Entfaltung und der Niederschlag ...
 ... sind dieselben, wie ...
 ... Die Anstreckung des Flügels vor dem Niederschlage ...
 ... Flügelfant nicht mit ...
 ... wie dieses beim Vogel ...
 ... des Rück- ...
 ... geschieht; und hierin, ...
 ... liegt wohl der wesentliche ...
 ... dem Fluge der Fledermaus ...
 ... Die Fledermaus ...
 ... erreicht, kann ...
 ... mit der Säugethier- ...
 ...

Mechanik des Fluges.

Die Untersuchungen, welche in dem ersten Theile enthalten sind, geben schon an und für sich aus der Beschaffenheit der Flugorgane und ihrer besonderen Verrichtung, folglich aus dem naturgeschichtlichen und physiologischen Standpunkte, die allgemeine Erklärung der verschiedenen Flugbewegungen des Vogels. Da jedoch diese Bewegungen mechanischen Gesetzen unterworfen sind, mit deren Hülfe und auf der Grundlage der vorhergehenden Untersuchungen sich deren Natur und Wirkungsart genau bestimmen lassen, so müssen wir diese Bewegungen zum Behufe ihrer vollständigen Erklärung aus dem mechanischen Standpunkte betrachten.

Erstes Kapitel.

Vom Widerstande der Luft.

§. 145.

Das widerstehende Mittel, durch welches sich der Vogel erhebt und fortbewegt, ist die Luft. Indem mittelst der Kontraktion des großen Brustmuskels der ausgebreitete Flügel niederwärts bewegt wird, wird der Geschwindigkeit dieses Niederschlages angemessen ein Widerstand erzeugt, welcher der Aktion des Muskels als Stützpunkt dient. Indem nämlich der große Brustmuskel in seiner Verkürzung den Flügel an der dem Umdrehungspunkte nahe

liegenden Insertionsstelle niederwärts zieht, zieht dessen anderes an dem Brustbeinkamme befestigtes Ende den Körper aufwärts, und zwar mit derselben Kraft und derselben Geschwindigkeit, d. i. mit demselben mechanischen Momente, als die Niederziehung des Flügelarmes am anderen Ende erfolgt. Diese Hebung oder Gegenwirkung kann aber nur dadurch geschehen, daß der Flügel selbst im Niederschlage einen Widerstand erleidet, dessen Moment, auf den Punkt des Flügels reduzirt, in welchem der Angriff des Brustmuskels wirksam ist, jenem der Muskelkraft gleich ist. Wir müssen daher zuerst die Gröfse dieses Widerstandes und dessen Gesetze in Beziehung auf unseren Zweck zu bestimmen suchen.

I.

Von der Lage des Widerstandspunktes.

§. 146.

Wenn sich irgend eine Fläche, z. B. ein Parallelogramm, um die eine Seite als Axe dreht, so steht die Geschwindigkeit jedes Punktes dieser Fläche im Verhältnisse seiner Entfernung von der Axe, der Widerstand jedes einzelnen Punktes wächst also mit dieser Geschwindigkeit, und zwar wie das Quadrat derselben oder wie das Quadrat seiner Entfernung von der Axe; und alle Punkte, welche in einer der Axe parallelen Linie liegen, leisten denselben Widerstand. Man kann sich sonach den Widerstand der Fläche, in Bezug auf seine Wirkung auf die Axe, als in einem Punkte vereinigt denken, in welchem alle einzelne, auf die einzelnen Theile der Fläche vertheilte, als senkrechte Kräfte auf dieselben wirkenden Widerstände sich vereinigen. Dieser Punkt heist der **Widerstandspunkt** (der Mittelpunkt des Widerstandes). Der gesammte Widerstand auf die sich um eine Axe drehende Fläche in diesem Punkte vereinigt, muß also in Beziehung auf die Axe das-

selbe statische Moment haben, als der Widerstand auf die ganze Fläche vertheilt.

§. 147.

Da sich bei gleichen Geschwindigkeiten der Widerstand wie die Gröfse der widerstehenden Fläche, und bei verschiedenen Geschwindigkeiten wie das Quadrat der Geschwindigkeit verhält (zwei Voraussetzungen, welche für Geschwindigkeiten, die nicht sehr beträchtlich sind, als hinreichend genau angenommen werden können); so verhält sich der Widerstand eines jeden Punktes oder Elementes derselben, wie dieses Element und das Quadrat seiner Entfernung von der Axe; und in Beziehung auf sein statisches Moment, wie die dritte Potenz dieser Entfernung. Diese Entfernung sey $= x$, der Querschnitt der Fläche (der Axe parallel) in der Entfernung $x = y$, der Inhalt der Fläche sey $= F$, die Entfernung des gesuchten Widerstandspunktes von der Axe sey $= k$; so verhält sich das statische Moment des Widerstandes auf das Flächenelement, wie $y dx x^3$, und jenes des Widerstandes auf die ganze Fläche, wie $k^3 F$, oder es ist

$$\int y dx x^3 = k^3 F,$$

als allgemeine Integralgleichung für die Bestimmung des Widerstandspunktes irgend einer Fläche, die sich um eine Axe dreht, diese mag in eine der Seiten der Fläche fallen, oder von ihr entfernt seyn.

In der Fig. 23 sey F ein Trapez, das sich mit der inneren Seite a' in der Entfernung n , und mit der äusseren a in der Entfernung m , um die Axe rs parallel zu a' dreht; so ist

$$m - x : m - n = y' : a - a',$$

$$y' = \frac{(a - a')(m - x)}{m - n}, \text{ und}$$

$$y = a - y' = a - \frac{(a - a')(m - x)}{m - n},$$

$$y dx x^3 = \frac{a(n-n)^3 dx + (a-a')x^4 dx + (a'-a)mx^3 dx}{m-n},$$

also der Widerstand oder w

$$w = \frac{\frac{x^4}{4}(a'm - an) + \frac{x^5}{5}(a - a')}{m-n} + C$$

für $x = n$ wird $w = 0$, folglich

$$C = \frac{-\frac{n^4}{4}(a'm - an) - \frac{n^5}{5}(a - a')}{m-n}.$$

Nun ist $F = \frac{(a+a')(m-n)}{2}$, folglich da für $x = m$ der Widerstand für die ganze Fläche F vorhanden ist:

$$1) \quad k^3 = \frac{\frac{2}{4}(m^4 - n^4)(a'm - an) + \frac{2}{5}(m^5 - n^5)(a - a')}{(n-n)(m-n)(a+a')}.$$

Setzt man $n = 0$, wo nämlich die nächste Seite des Trapezes in der Axe liegt, so wird

$$2) \quad k^3 = m^3 \frac{a' + 4a}{10(a+a')}.$$

für $a' = a$, wenn nämlich aus dem Trapeze ein Rechteck wird, ist

$$3) \quad k^3 = \frac{m^4 - n^4}{4(m-n)},$$

und wenn dabei $n = 0$, oder die eine Seite des Rechteckes in der Axe liegt, so ist

$$4) \quad k^3 = \frac{1}{4}m^3, \text{ oder } k = 0.63m;$$

für $a = 0$, oder wenn aus dem Trapeze ein Dreieck wird, dessen Grundlinie gegen die Axe liegt, ist

$$5) \quad k^3 = \frac{m^5 - 5mn^4 + 4n^5}{10(m-n)^2};$$

und wenn dabei $n = 0$, oder die Grundlinie in die Axe fällt, so ist

$$6) \quad k^3 = \frac{1}{10}m^3; k = 0.464m,$$

für $a' = 0$, oder wenn das Dreieck mit seiner Spitze gegen die

Axe steht, ist

$$7) \quad k^3 = \frac{n^3 - 5nm^2 + 4m^3}{10(m-n)^2},$$

und wenn dabei $n = 0$, oder die Spitze des Dreieckes in die Axe fällt, ist

$$8) \quad k^3 = \frac{4}{15} m^3.$$

§. 148.

Wenn der Widerstandspunkt für eine zusammengesetztere geradlinige Fläche bestimmt werden soll, so theilt man sie nach den Bedingungen der vorstehenden Aufgabe in Rechtecke, Trapeze oder Dreiecke, bestimmt nach den vorigen Formeln für jedes einzeln die Werthe von k oder die Widerstandspunkte, und vereinigt sie dann in einem gemeinschaftlichen Punkte, mittelst der Formel

$$9) \quad k^3 = \frac{a k^3 + b k^3 + c k^3 \dots}{a + b + c \dots},$$

wo k, k, k , die den verschiedenen Flächen, welche sich mit derselben Winkelgeschwindigkeit bewegen, zugehörigen Entfernungen der Widerstandspunkte von der Drehungsaxe und a, b, c den Inhalt dieser Flächen bezeichnen. Z. B. eine solche Fläche, wie Fig. 24, drehe sich um die Axe rs , so bestimmt man den Widerstandspunkt oder k^3 für a aus der Formel 4), für b aus der Formel 1), für c aus der Formel 5), und setzt diese Werthe mit dem Flächeninhalt der einzelnen Stücke a, b, c , in der Formel 9), um den gemeinschaftlichen Widerstandspunkt der ganzen Fläche zu erhalten.

§. 149.

Für krummlinige Flächen haben wir für unseren Zweck zunächst die elliptische und parabolische Form zu berücksichtigen, die mehr und weniger, zumal die letztere, in der Flügelform ausgedrückt sind. Der Flügel kann eine Viertel-Ellipse darstellen, von welcher die halbe kleine Axe die Drehungsaxe, und die halbe grofse Axe die Flügellänge ist. Bezeichnet man die letztere mit

a und die erstere mit b , so ist für diesen Fall nach der Gleichung für die Ellipse

$$y = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2},$$

und durch Substitution in der obigen Integralgleichung

$$\frac{b}{a} \int x^3 dx \sqrt{a^2 - x^2} = k^3 A.$$

Setzt man $a^2 - x^2 = z$, so ist

$$x^3 = (a^2 - z)^{\frac{3}{2}}, \text{ und } dx = -\frac{1}{2} (a^2 - z)^{-\frac{1}{2}} dz,$$

also

$$\begin{aligned} \frac{b}{a} \int x^3 dx \sqrt{a^2 - x^2} &= -\frac{b}{2a} \int z^{\frac{1}{2}} (a^2 - z) dz \\ &= -\frac{b}{2a} \left(\frac{2}{3} a^2 z^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{5} z^{\frac{5}{2}} \right) + C, \end{aligned}$$

und wenn man für z wieder seinen Werth setzt, so ist

$$\frac{b}{a} \int x^3 dx \sqrt{a^2 - x^2} = C - \frac{b}{15a} (a^2 - x^2)^{\frac{3}{2}} (3x^2 + 2a^2).$$

Für $x = 0$ wird $C = \frac{2b}{15} a^4$, und für $x = a$ oder für den Widerstand der ganzen Viertel-Ellipse wird das zweite Glied $= 0$, folglich ist

$$\frac{b}{a} \int_0^a x^3 dx \sqrt{a^2 - x^2} = \frac{2}{15} b a^4 = k^3 F.$$

Da $F = \frac{ab\pi}{4}$, so ist sonach $k^3 = \frac{8}{15\pi} a^3$, und

$$10) \quad k = 0.5537 a.$$

§. 150.

Wenn eine parabolische Fläche sich als Flügel um die Axe dreht; so kann dieses entweder so geschehen, daß die Ordinate in der Axe liegt, oder so, daß die Abszissenlinie in die Axe fällt. Im ersten Falle liegt der Scheitel der halben Parabel in der Flügelspitze, und die Abszissenlinie bildet die Flügellänge; im zweiten Falle liegt der Scheitel im Schulterpunkte, und die Flügellänge wird durch die Ordinate gebildet.

Für den ersten Fall, Fig. 25, ist in der Integralgleichung $\int y du u^3 = k^3 F$, $u = l - x$ und $x = l - u$, daher nach der Gleichung der Parabel

$$y = x^{\frac{1}{2}} a^{\frac{1}{2}} = (l - u)^{\frac{1}{2}} a^{\frac{1}{2}};$$

folglich

$$\begin{aligned} \int y du u^3 &= \int (l - u)^{\frac{1}{2}} a^{\frac{1}{2}} u^3 du \\ &= a^{\frac{1}{2}} \int (l - u)^{\frac{1}{2}} u^3 du \\ &= a^{\frac{1}{2}} \left(\frac{l^{\frac{1}{2}} u^4}{4} - \frac{1}{10} l^{\frac{1}{2}} u^5 + \frac{1}{48} l^{\frac{3}{2}} u^6 - \frac{1}{112} l^{\frac{5}{2}} u^7 \dots \right), \text{ wo} \end{aligned}$$

die Konstante = 0. Da $a^{\frac{1}{2}} = \frac{b}{l^{\frac{1}{2}}}$, $F = \frac{2}{3} b l$, und der ganze

Widerstand für $u = l$ gilt, so ist sonach

$$k^3 = \frac{3}{8} l^3 - \frac{3}{20} l^3 + \frac{3}{96} l^3 - \frac{3}{224} l^3 \dots, \text{ oder}$$

$$11) \quad k = 0.556 \dots l.$$

Der Widerstandspunkt einer solchen Parabel fällt also mit jenem der Viertel-Ellipse nahe zusammen.

§. 151.

Für den zweiten Fall, wo nämlich die Abszissenlinie in der Umdrehungsaxe liegt, Fig. 26, wird

Fig. 26.

$$\begin{aligned} k^3 F &= \int (b - x) dy y^3 \\ &= \int \left(b y^3 - \frac{y^5}{a} \right) dy = \frac{b y^4}{4} - \frac{y^6}{6a} + C, \end{aligned}$$

wo $C = 0$. Da nun für $y = l$ der ganze Widerstand gilt, $a = \frac{l^2}{b}$ und $F = \frac{2}{3} b l$, so wird

$$k^3 = \frac{3}{8} l^3 - \frac{3}{12} l^3 = \frac{1}{8} l^3, \text{ und}$$

$$12) \quad k = l \sqrt[3]{\frac{1}{8}} = \frac{1}{2} l.$$

Bei dieser Parabel, deren Parameter $= \frac{l^2}{b}$ ist, liegt daher der Widerstandspunkt in der Mitte der Flügellänge, oder in derselben er-

leiden bei der Umdrehung alle einzelnen Querschnitte von der Drehungsaxe nach der Spitze den gleichen Widerstand.

Liegt b' in der Entfernung $= n$ von der Umdrehungsaxe, und parallel mit letzterer, so ist, wenn l die ganze Länge bis zur Axe bezeichnet,

$$13) \quad k^3 = \left(\frac{1}{8} \frac{l^4}{l-n} - \frac{3}{8} \frac{n^4}{l-n} + \frac{2}{8} \frac{n^6}{l^2(l-n)} \right) \frac{b}{b'},$$

wo b die Abszisse in der Achse, und b' jene in der Entfernung $= n$ bezeichnet, welche letztere $= b \left(1 - \frac{n^2}{l^2} \right)$ ist. Denn es

$$\text{ist, wie oben, } \int (b-x) dy y^3 = \frac{b y^4}{4} - \frac{y^6}{6a} + C = k^3 F.$$

Für $y = n$ wird der Widerstand $= 0$, also $C = \frac{n^6}{6a} - \frac{b n^4}{4}$; folglich, da für den ganzen Widerstand

$$y = l, \quad a = \frac{l^2}{b}, \quad \text{und } F = \frac{2}{3} b, (l-n);$$

so ergibt sich durch Substitution der obige Werth von k^3 .

§. 152.

In jedem einzelnen Querschnitte der Fläche liegt der ihm zugehörige Widerstandspunkt in der Mitte; die Linie, welche durch diese Punkte von der Axe aus gegen den äußeren Rand oder die Spitze gezogen wird, ist die Mittellinie des Widerstandes; sie theilt die Fläche der Länge nach in zwei Hälften, von denen jede denselben Widerstand erleidet. Bei geradlinigen Flächen ist sie daher eine gerade oder aus geraden zusammengesetzte Linie, die diese Flächen halbirt; bei der Ellipse ist sie eine Ellipse von derselben großen und der halben kleinen Axe, bei der Parabel ist sie gleichfalls eine Parabel von dem doppelten Parameter. Die Mittellinie des Widerstandes geht durch den gemeinschaftlichen Widerstandspunkt.

II.

Von dem Maße des Luftwiderstandes.

§. 153.

Wenn eine ebene Fläche senkrecht auf die Richtung ihrer Bewegung durch die Luft mit einer gewissen Geschwindigkeit vorwärts geschoben wird, so treibt sie die vor ihr befindliche Luft aus der Stelle, und jedes Theilchen dieser Luft muß, um auszuweichen, mit derselben Geschwindigkeit $= u$ fortgestoßen werden. Diese Geschwindigkeit, welche jedem Lufttheilchen eingeprägt wird, würde dasselbe durch den Fall aus der Höhe $= \frac{u^2}{2g}$ erhalten haben, und die mechanische Wirkung ist dieselbe, als wenn jedes Lufttheilchen auf die Höhe $\frac{u^2}{2g}$ gehoben würde. Ist daher die Masse dieser Lufttheilchen zusammengenommen $= m$, so ist die Wirkung, welche die Bewegung der Fläche in der Luft hervorbringt $= m \frac{u^2}{2g}$. Nun ist die Masse der in Bewegung gesetzten Lufttheilchen der Fläche $= w$ proportional, und der Dichtigkeit der Luft $= \delta$, oder $m = w \delta$; folglich ist der Widerstand der Fläche gegen die Luft für die Geschwindigkeit $u = w \delta \frac{u^2}{2g}$, d. i. gleich dem Drucke einer Luftsäule, deren Grundfläche die bewegte Ebene und die Höhe die der Geschwindigkeit zugehörige Höhe ist. Diese Höhe bezeichnen wir zur Abkürzung als Widerstandshöhe.

Dieses aus der theoretischen Betrachtung abgeleitete Maß des Widerstandes ist jedoch den Erfahrungen nach zu klein, wovon hauptsächlich der Grund darin liegt, daß die Lufttheilchen, so wie sie von der bewegten Fläche gestoßen werden, nicht sogleich frei mit der erlangten Geschwindigkeit entweichen können, schon darum, weil sie unter einander selbst mit einem gewissen Grade

von Zähigkeit zusammenhängen; wodurch eine Verdichtung der Luft vor der Fläche entsteht, die um so größer werden muß, je größer die Geschwindigkeit ist. Außerdem kommt noch die Wirkung der hinteren Seite der bewegten Fläche ins Spiel, die sich in ihrer Bewegung von der anliegenden Luft zu trennen hat, die dann in den relativ verdünnten Raum nachstürzt, ferner die Reibung der Luft an den Seitentheilen der Fläche oder des Körpers. Diese Einflüsse können nur durch die Erfahrung ausgemittelt werden.

§. 154.

In Übereinstimmung mit den zahlreichen, in älterer und neuerer Zeit, angestellten Versuchen hat *Col. Duchemin* in seinen „*Recherches expérimentales* ¹⁾“ zur Bestimmung des Widerstandes einer auf die Richtung ihrer geradlinigen Bewegung senkrechten Ebene folgende Formel gegeben:

$$14). \quad R = 0.627 \, w \, \Delta \, \frac{u^2}{g},$$

wo w den Inhalt der Fläche, u die Geschwindigkeit, und Δ die Dichtigkeit der Luft vor der bewegten Fläche bezeichnet. Die letztere wird bemessen durch

$$\Delta = \delta \left(1 + \frac{u}{\gamma} \right);$$

hier bezeichnet δ die Dichtigkeit der Luft im Stande der Ruhe, und γ die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft von dieser Dichtigkeit in den leeren Raum strömen würde. Die Dichtigkeit δ wird gefunden, indem man das Gewicht einer Volumseinheit Wasser, z. B. eines Kub. Fusses, mit dem spez. Gewichte der Luft bei einem bestimmten Barometer- und Thermometerstande multipliziert; endlich ist die Geschwindigkeit

$$\gamma = \sqrt{2g h, \frac{D}{\delta}},$$

¹⁾ Experimental - Untersuchungen über die Gesetze des Widerstandes der Flüssigkeiten; übers. von Dr. Schnuse. Braunschweig 1844.

wo h , die Höhe der Wassersäule bezeichnet, die dem Luftdrucke gleich ist, und D das Gewicht der Volumseinheit Wasser.

Diese Formel, welche die Erfahrungsergebnisse mit Genauigkeit wiedergibt, zeigt, daß, da für kleinere Geschwindigkeiten $\frac{u}{\gamma}$ nur ein sehr kleiner Bruch ist, für solche Geschwindigkeiten der Widerstand im Verhältnisse des Quadrates der Geschwindigkeiten stehe, wie es die Erfahrung bestätigt, daß jedoch bei größeren Geschwindigkeiten der Widerstand in einem größeren Verhältnisse zunehme, weil dann auch die Verdichtung der Luft vor der Fläche bedeutend zunimmt, so daß sie endlich das Doppelte wird, wenn $u = \gamma$.

§. 155.

Aus der vorigen Formel ergibt sich der Koeffizient der Widerstandshöhe

$$\rho' = 1.254 \left(1 + \frac{u}{\gamma} \right).$$

Da $\gamma = 1300'$ W., für mittleren Barometer- und Thermometerstand, so ist hiernach

$$\text{für } u = 5', \quad \rho' = 1.2588$$

$$,, \quad u = 10', \quad \rho' = 1.2636$$

$$,, \quad u = 20', \quad \rho' = 1.2733$$

$$,, \quad u = 30', \quad \rho' = 1.2829$$

$$,, \quad u = 40', \quad \rho' = 1.2925$$

$$,, \quad u = 50', \quad \rho' = 1.3023$$

$$,, \quad u = 60', \quad \rho' = 1.3118.$$

Für Geschwindigkeiten bis zu $10'$ ist also der Widerstand auf eine ebene Fläche, senkrecht auf die Richtung ihrer geradlinigen Bewegung, dem Drucke einer Luftsäule gleich, deren Höhe $1\frac{1}{4}$ mal die Geschwindigkeitshöhe beträgt.

§. 156.

Im Jahre 1805, wo ich einige Untersuchungen über den Widerstand begonnen hatte, der durch den Flügelschlag des Vogels hervorgebracht wird, stellte ich eine Reihe von Versuchen an, um die absolute Gröfse dieses Widerstandes zu bestimmen. Ich ging dabei von der Voraussetzung aus, dafs die früheren Versuche von *Borda*, *Vince* und *Hutton* für die Bemessung des Widerstandes auf diesen Fall nicht anwendbar seyen, weil sie mit Rotations-Apparaten angestellt waren, bei denen die in der Regel kleine Fläche an einem Arme von 4' Länge und darüber befestigt war, folglich sich so weit von der Umdrehungsaxe befand, dafs ihr Widerstand von demjenigen einer Fläche, die sich senkrecht auf die Richtung ihrer Bewegung in gerader Linie bewegt, nicht viel verschieden seyn konnte, daher auch diese Versuche die Bemessung des Widerstandes nur mit der $1\frac{1}{3}$ - bis $1\frac{1}{2}$ -fachen Geschwindigkeitshöhe ergaben. Ich hielt es dagegen für nothwendig, diese Versuche unter derselben Bedingung, als der Flügelschlag geschieht, anzustellen, nämlich mittelst der Umdrehung einer quadratischen Fläche, von welcher die eine Seite unmittelbar in der Drehungsaxe lag. Es ist wohl leicht einzusehen, dafs bei dieser Einrichtung der Widerstand sich gröfser ergeben müsse. Denn die Geschwindigkeit, mit welcher die einzelnen, der Drehungsaxe parallelen, Querschnitte der Fläche die Luft treffen, wächst mit ihrer Entfernung von dieser Axe; die gestofsenen Lufttheilchen entweichen also mit um so gröfserer Geschwindigkeit, je weiter sie von der Axe entfernt sind; die näher an der Axe liegenden Lufttheile sind daher genöthigt, jenen nachzufolgen, weil sonst ein leerer Raum entstünde; es mufs sonach während des Niederschlages oder der Drehbewegung eine Strömung der Luft von der Axe gegen den vorderen Rand der Fläche erfolgen, wodurch nicht nur denselben von innen nach aufsen fortrückenden Lufttheilchen

eine immer grössere Geschwindigkeit eingedrückt, sondern überhaupt eine grössere Luftmasse unter die Wirkung der sich drehenden Fläche gebracht wird.

Diese Versuche wurden mit möglichster Sorgfalt und mit Berücksichtigung aller Nebenumstände angestellt, und dieselben sind ausführlich in *Gilbert's Annalen der Physik*, 23. Bd. S. 129—170 (Jahrgang 1806) beschrieben, auch daraus in der neuen Ausgabe des *Gehler'schen physikalischen Wörterbuchs*, Bd. 4. S. 460, und Bd. 10. S. 1848 aufgenommen. Sie ergeben für eine Fläche, die nach Art der Flügel um die eine Seite als Axe gedreht wird, für Geschwindigkeiten bis zu 10', einen Luftwiderstand, welcher mit $3.8 \frac{u^2}{2g}$, oder mit der 3.8fachen Geschwindigkeitshöhe bemessen wird, folglich etwa dreimal so gross ist, als derjenige, den die früheren Versuche für dieselbe auf die Richtung ihrer geradlinigen Bewegung senkrechte Fläche ergeben. So abweichend dieses Resultat erschien, so war ich jedoch von der Richtigkeit desselben ganz überzeugt, und habe daher dasselbe bei den verschiedenen Rechnungen über die Wirkung des Flügelschlages seitdem immer zum Grunde gelegt.

§. 157.

Unter allen Schriftstellern, die diesen Gegenstand bearbeitet haben, ist Herr *Duchemin* (in der oben angezeigten Schrift) der einzige, der die Vergrößerung des Widerstandes in der kreisförmigen Bewegung näher betrachtete, und dieselbe aus der Vergleichung der früheren Versuche von *Borda*, *Hutton*, *Vince*, *Thiebault* u. a. auf ein mit diesen Erfahrungen übereinstimmendes Gesetz zurückzuführen suchte. Diefs geschieht dadurch, dafs der obigen Formel (14) der Faktor

$$1 + \frac{0.8122 \sqrt{w}}{0.627 (f - s)}$$

beigesetzt wurde, in welchem w den Inhalt der gedrehten quadratischen Fläche, f die Entfernung ihres Mittelpunktes von der Umdrehungsaxe (welche, wie vorher bemerkt, bei jenen Versuchen 4' und darüber betrug), und s die Entfernung des Mittelpunktes vom Schwerpunkte des gegen die Umdrehungsaxe liegenden Theiles der Fläche bezeichnet. Wenn wir hier für $f - s = k$ setzen, nämlich die Entfernung des Widerstandspunktes der an der Umdrehungsaxe liegenden gedrehten Fläche von dieser Axe, wie es für diese Versuche die Natur der Aufgabe erfordert, wo dann u die Geschwindigkeit der Fläche in diesem Widerstandspunkte bezeichnet; so erhalten wir für die Berechnung derselben die Formel

$$15) \quad R = 0.627 w \delta \left(1 + \frac{u}{\gamma}\right) \frac{u^2}{g} \left(1 + \frac{0.8122 \sqrt{w}}{0.627 k}\right).$$

Bei den von mir angestellten Versuchen war

$$w = 0.819025 \text{ Q. F.}, \quad k = 0.63 \sqrt{w} (4),$$

also

$$1 + \frac{0.8122 \sqrt{w}}{0.627 k} = 3.056; \quad \text{ferner ist } g = 31'015, \quad \delta = \frac{D}{\delta'},$$

wo D das Gewicht eines K. F. Wasser, $\frac{1}{\delta'}$ das spez. Gewicht der Luft bei dem vorhandenen Barometer- und Thermometerstande bezeichnet, also $\gamma = \sqrt{2 g h' \delta'}$, wo $h' = 32'542$, oder die Höhe der Wassersäule, die dem Drucke der Luftsäule bei mittlerem Barometer- und Thermometerstande gleich ist. Die in der nachfolgenden Tafel bezeichneten, aus der oben genannten Abhandlung genommenen Versuche sind in zwei Abtheilungen ange stellt, von denen die letzteren sechs die zweite Abtheilung bilden; für die erste kommt bei mittlerem Barometerstande die mittlere Temperatur mit 10°R. , bei der letzteren mit 15°R. in Rechnung zu bringen; hiernach ist für diese Temperatur und mit Berücksichtigung des mittleren Feuchtigkeitszustandes für die erste Abtheilung

und für die zweite

$$\delta = \frac{D}{\delta'} = \frac{56.4}{810},$$

$$\delta = \frac{56.35}{840}.$$

Die für die einzelnen Geschwindigkeiten gefundenen Widerstände $= R$ sind in der nachfolgenden Tabelle in Lothen (32 für das Pfund) angegeben. Um die jedem einzelnen Versuche zugehörige Widerstandshöhe zu bestimmen, so ist, wenn der Koeffizient dieser Höhe mit ρ bezeichnet wird, da allgemein $R = \rho w \frac{u^2}{2g} p$, wo $p = \delta$ das Gewicht eines Kub. Fusses Luft in Pfunden, für die Versuche der ersten Abtheilung

$$\rho = R \frac{2g}{32.w \frac{56.4}{810} u^2},$$

für jene der zweiten

$$\rho = R \frac{2g}{32.w \frac{56.35}{840} u^2}.$$

§. 158.

Nach diesen Daten sind die Werthe in der folgenden Tafel berechnet, in welcher die erste Kolumne die Geschwindigkeiten der bewegten Fläche in ihrem Widerstandspunkte enthält, die zweite Kolumne die, nach meinen Versuchen, beobachteten Widerstände für diese Geschwindigkeiten in Lothen oder Zweiunddreissigstel des Pfundes, die dritte Kolumne diese Widerstände nach der Formel 15) berechnet, endlich die vierte Kolumne die den berechneten Widerständen zugehörigen Koeffizienten der Widerstandshöhe, wenn diese Zahlen mit ρ bezeichnet werden.

Geschwindigkeit in Fussen.	Beobachteter Widerstand in Lothen.	Berechneter Widerstand.	Koeffizient der Widerstands- höhe = ρ .
2.8377	0.8885	0.9090	3.8405
3.0820	1.0541	1.0735	3.8412
3.3055	1.2468	1.2351	3.8418
3.5140	1.4087	1.3962	3.8425
3.7413	1.5749	1.5828	3.8431
4.6135	2.4317	2.4084	3.8456
5.3145	3.2579	3.1977	3.8479
5.9683	4.1068	4.0349	3.8497
6.5109	4.8461	4.8039	3.8513
6.9954	5.5569	5.5475	3.8527
7.4827	6.3534	6.3494	3.8542
7.8744	7.1429	7.0337	3.8553
8.7616	8.4411	8.3946	3.8579
9.2158	9.2352	9.2908	3.8592
9.5554	10.0999	9.9906	3.8603
10.0270	10.9119	11.0050	3.8616
10.3720	11.7205	11.7790	3.8627
10.7430	12.6792	12.6400	3.8638

Die beobachteten Widerstände stimmen hier also mit der Rechnung so genau, als es bei ähnlichen Versuchen, wo ein unmerklicher Fehler in der Zeit der Bewegung schon einen merklichen im Widerstande hervorbringt, erwartet werden kann. Diese Übereinstimmung setzt nicht nur diese eigenen Versuche mit den früher von Anderen angestellten in Harmonie, sondern beweiset auch die Richtigkeit der oben (15) angegebenen Formel.

Der Koeffizient der Widerstandshöhe wächst mit der Geschwindigkeit, wegen des Faktors $1 + \frac{u}{\gamma}$. Zur allgemeineren

Bestimmung dieses Koeffizienten $= \rho$, ist nach 15)

$$R = \rho \frac{u^2}{2g} w \delta = 3.8322 \frac{u^2}{2g} w \delta \left(1 + \frac{u}{\gamma}\right),$$

da der Faktor

$$1 + \frac{0.8122 \sqrt{w}}{0.627 k} = 3.056$$

ist, folglich

$$16) \quad \rho = 3.8322 \left(1 + \frac{u}{\gamma}\right).$$

Für die Geschwindigkeit von 20' wird daher $\rho = 3.8911$, und für 30' Geschwindigkeit $\rho = 3.9206$, für $\gamma = 1300'$.

§. 159.

Die Versuche, welche bisher zur Ausmittlung des Widerstandes gekrümmter Flächen in der Luft angestellt worden sind, beschränken sich hauptsächlich auf Kugel- und Kegelflächen. Aus den vom *Col. Duchemin* aus den Versuchen von *Borda*, *Vince*, *Hutton* u. A. gezogenen zahlreichen Vergleichen ergibt sich, daß der Widerstand auf eine Halbkugel mit ebener Hinterfläche $= w$, $\frac{2}{3}$ des Widerstandes auf diese Fläche betrage, folglich mit

$$\begin{aligned} r &= 0.627 \times \frac{2}{3} w \Delta \frac{u^2}{g} \\ &= 0.4 \rho' \frac{u^2}{2g} w p \end{aligned}$$

bemessen werde.

Aus denselben Versuchen geht hervor, daß der Widerstand gegen die Grundfläche eines Kegels sich verhält zu dem gegen die konvexe Oberfläche, wie der Sinus totus zum Sinus des Einfallswinkels der Seitenlinien des Kegels.

§. 160.

Der Widerstand auf eine k o n k a v e Fläche ist etwas größer, als auf die Ebene ihrer Projektion, was schon aus dem Umstande hervorgeht, daß die durch die Bewegung der konkaven Fläche

in Bewegung gesetzten Lufttheilchen nicht so frei entweichen können, als vor der ebenen Fläche. Aus mehreren Versuchen, im Besondern auch jenen, welche *Thiebault* angestellt hat, geht hervor, daß der Widerstand für eine konkave Fläche nahezu gleich ist dem Widerstande einer ebenen Fläche von demselben Flächeninhalte, folglich von dem Inhalte $= 2 w \left(\frac{1 - \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \right)$, wenn w die Projektion der krummen Fläche und φ den Winkel bezeichnet, welchem der Bogen der kreisförmigen Fläche zugehört.

Bei den zur Bestimmung kreisförmiger konkaver Flächen, welchen unter übrigens gleichen Umständen der größte Widerstand entspricht, gemachten Beobachtungen hat man gefunden, daß dieses Maximum Statt findet, wenn der Pfeil der Krümmung zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{3}$ der Breite der Projektion der krummen Fläche auf die auf der Richtung der Bewegung senkrechte Ebene beträgt. Diese Bedingung entspricht einem Bogen von nahe 60° . Unter dieser Bedingung ist die den Widerstand bemessende Fläche des Bogens $= 1\frac{1}{3} w$.

Vom schiefen Widerstande.

§. 161.

Wirkt auf die Fläche ab (Fig. 27) ein Luftstrom in der Richtung dc , mit der Geschwindigkeit C , so wird die Geschwindigkeit in der Richtung fe oder senkrecht auf die Fläche $= C \sin i$, und die parallele in der Richtung $be = C \cos i$, welche in die Ebene der Fläche fällt, so daß nur die Wirkung von $C \sin i$ in der Richtung fe bleibt. Da der Widerstand wie das Quadrat der Geschwindigkeit wächst, so ist sonach die Wirkung dieser senkrechten Kraft

$$p' = A C^2 \sin^2 i,$$

wenn A eine die Verhältnisse des Luftwiderstandes bezeichnende

konstante Gröfse ist. Diese Kraft p' zerlegt sich in Beziehung auf die Richtung dc wieder in zwei andere, p und p'' , von denen p auf die zu cd senkrechte Hebung der Ebene ab wirkt, p'' aber diese Ebene in der Richtung dc fortschiebt. Es ist aber

$p = p' \cos i$, und $p'' = p' \sin i$,
folglich

$$p = AC^2 \sin^2 i \cos i, \text{ und}$$

$$p'' = AC^2 \sin^3 i.$$

Der Theorie nach verhält sich also der Widerstand auf eine Ebene, wenn diese senkrecht oder unter einem Winkel von 90° gegen die Luft bewegt wird, zu dem Widerstande eben dieser unter dem Winkel i gegen die Richtung ihrer Bewegung geneigten Fläche, wie

$$AC^2 : AC^2 \sin^2 i = 1 : \sin^2 i.$$

§. 162.

Die über den Widerstand schiefer Flächen in der Luft angestellten Versuche nähern sich zwar in ihren Resultaten dieser theoretischen Bestimmung, so dafs man wohl sieht, dafs dieses Gesetz in denselben vorherrschend sey; sie weichen jedoch in den kleineren Winkeln so bedeutend ab, dafs nothwendig hier noch andere Einflüsse Statt finden müssen, die eine Tendenz haben, bei kleinen Winkeln den Widerstand zu vergrößern, wahrscheinlich vermöge der Wirkung der Hinterfläche, auf welche die obige Bestimmung keine Rücksicht nimmt. Denn bewegt sich die Ebene unter einem mit der Bewegungsrichtung kleinen Winkel, so nähert sich der Luftstrom auch um so mehr der Hinterfläche, je kleiner dieser Winkel, und reißt die an dieser anliegende Luft mit sich fort, so dafs an derselben ein relativ verdünnter Raum entsteht, der die Wirkung hat, als wenn eine gröfsere Luftverdichtung an der Vorderfläche, folglich ein gröfserer Widerstand vorhanden wäre.

In der nachfolgenden Tafel, in welcher die vorzüglichsten Versuche dieser Art zusammengestellt sind, enthält die letzte Kolumne die für die verschiedenen Winkel unter der Annahme berechneten Widerstandsgrößen, daß für den Winkel $i = i + 3\frac{1}{2}$ gesetzt, oder der gegebene Neigungswinkel um $3\frac{1}{2}^\circ$ vergrößert ist. Der Widerstand für $90^\circ = 10000$.

Winkel.	Versuche von			Mittel.	Rechnung nach	
	Hutton.	Vince.	M. Beaufoy.		$\sin^2 i.$	$\sin^2 (i + 3\frac{1}{2}).$
5	190	—	217	203	76	218
10	520	484	438	470	299	545
15	—	—	940	940	685	1070
20	1580	1570	1561	1570	1156	1590
25	—	—	2274	2274	1764	2278
30	3310	3300	3375	3362	2500	3046
40	5330	5060	4832	5074	4096	4738
50	7240	6600	6069	6636	5867	6461
60	8680	8200	7410	8096	7499	8009
70	9570	9150	8615	9112	8830	9193
80	9940	9630	9279	9616	9604	8972

Die Zahlen der letzten Kolumne differiren von dem Mittelwerthe der Versuche weniger, als diese selbst unter einander; man kann also ohne bedeutenden Fehler den schiefen Widerstand in der Art bestimmen, das man ihn nach dem Quadrate des um $3\frac{1}{2}^\circ$ vergrößerten Neigungswinkels bemisst. Übrigens zeigt die Tafel, daß bei größeren Winkeln, etwa von 60° an, derselbe auch nach dem Quadrate des Sinus genommen werden kann.

Wie sich diese schiefen Widerstände bei der Wirkung der Flügel des frei schwebenden Vogelkörpers erhalten, wird nachher erörtert.

Zweites Kapitel.

Von der Wirkung des Flügelschlages zur Hebung.

§. 163.

Der Flügelschlag enthält, wie im ersten Theile näher gezeigt worden, zwei Hauptbewegungen, nämlich den Niederschlag und den Rückschlag. Beim Niederschlage wird der ausgebreitete Flügel aus der höchsten Stelle, in welche er durch den Rückschlag gebracht worden ist, niederwärts bewegt, und dadurch der Widerstand erzeugt, vermittelst dessen der Vogel vermöge der Gegenwirkung seiner Brustmuskeln sich zu erheben oder schwebend zu erhalten im Stande ist. Diese Niederbewegung des Flügels oder dieser Niederschlag geschieht durch den Zug des Brustmuskels, der, wie bei der Muskelbewegung überhaupt, als gleichmäfsig anzunehmen ist, sowohl weil die Zeit dieser Wirkung jedenfalls sehr kurz ist, als auch weil nur dann seine Wirkung in einer gegebenen Zeit die grösste wird, eine Bedingung, die in der Ökonomie der Natur vorausgesetzt werden mufs. Die Niederbewegung des Flügels durch den Muskelzug ist also beschleunigt.

§. 164.

Die Wirkung des Niederschlages ist doppelt, indem ein Theil des durch denselben erzeugten Luftwiderstandes zur lothrechten Hebung, der andere Theil zur Vorwärtsbewegung in der Richtung der Axe des Vogelkörpers verwendet wird. Denn da der Flügel

aus einer auf die Richtung des Niederschlages normalen Ebene, und aus Theilen oder Flächen besteht, welche zu der letzteren unter einem Winkel geneigt sind, so wirkt derselbe im Niederschlage wie eine etwas gegen die horizontale geneigte Ebene, so dafs der Widerstand sich in zwei auf einander senkrechte Kräfte auflöst, von denen die eine hebend, die andere vorwärts schiebend wirkt. Zur Vereinfachung des Gegenstandes wollen wir beide Wirkungen getrennt betrachten, und zuerst die mechanische Wirkung des Flügels, als einer senkrecht niederwärts gedrehten Ebene untersuchen.

§. 165.

Der Niederschlag des Flügels ist eine Winkelbewegung. Bei dieser Bewegung der Ebene wirkt in jedem Punkte der erzeugte Widerstand normal zu derselben; da aber diese normale Richtung mit der lothrechten, in welcher die Hebung erfolgt, einen um so gröfseren Winkel macht, je höher die Lage des Flügels ist, und umgekehrt; so ist für die Hebung selbst nur ein Theil des Widerstandes wirksam, der sich wie der Cosinus des Winkels verhält, folglich mit der Abnahme des Winkels zunimmt; und nur in dem Augenblicke, als der Flügel die Horizontalebene passirt, folglich der Winkel $= 0$ wird, wirkt für die Hebung der ganze Widerstand. Die Gesamtwirkung dieser mit dem Winkel variablen Widerstände gibt die ganze Wirkung zur Hebung.

Der andere Theil dieses Widerstandes, der sich wie der Sinus des Winkels verhält, folglich mit dem Winkel abnimmt, und beim Durchgange durch die Horizontalebene $= 0$ wird, trägt zwar zum Nutzeffekt der Hebung nichts bei, ist aber in sofern nicht als ein Kraftverlust anzusehen, da er auf die Flügelfläche nach aussen schiebend wirkt, zur Entfaltung der Federn und der Streckung (§. 91) beiträgt, welche Wirkung die Wirkung der Streckmuskeln beim Niederschlage des Flügels unterstützt.

In der Figur 28 ist CA der Längendurchschnitt der Ebene, Fig. 28. C der Umdrehungspunkt, CB liege in der Horizontallinie, so daß der Winkel über derselben durch φ und unter derselben durch ψ bezeichnet wird. Hat sich die Ebene von A bis D bewegt, so sey der durch diese Bewegung erzeugte Widerstand $= R$, und der auf den Punkt m' reduzierte senkrechte Druck aufwärts $= Q$. Bewegt sich die Ebene noch um $d\alpha$, oder der Punkt m' noch um dy weiter, so ist diese Wirkung

$$dW = - Q dy,$$

weil bei der Zunahme von W , y abnimmt. Ist die Entfernung des Punktes m vom Umdrehungspunkte $= k$, so ist

$$y = k \sin \alpha,$$

$$dy = k \cos \alpha d\alpha,$$

$$Q = R \cos \alpha.$$

Ist nun m der Widerstandspunkt der Ebene oder des Flügels, also k die Entfernung dieses Punktes von der Drehungsaxe, die Geschwindigkeit in dem Punkte $m' = v$, und F die Fläche der Ebene oder des Flügels, so ist

$$R = \rho \frac{v^2}{2g} p F \quad (\S. 157),$$

wo p das Gewicht eines Kub. Fusses Luft bei dem vorhandenen Barometer- und Thermometerstande, wenn v und F nach demselben Fußmaße gegeben sind.

Da die Geschwindigkeit v eine Funktion des Winkels α ist, so verhält sich, wenn C die in der tiefsten Lage des Flügels CE vermöge der Beschleunigung erlangte Geschwindigkeit bezeichnet,

$$v^2 : C^2 = \varphi - \alpha : \varphi + \psi,$$

daher

$$v^2 = C^2 \frac{\varphi - \alpha}{\varphi + \psi}.$$

Wird dieser Werth in der obigen Gleichung für R , und hiernach der Werth von Q und von dy in der obigen Differenzial-

gleichung substituirt, und, wegen $-Q dy$, von $\alpha = -\psi$ bis $\alpha = +\varphi$ integrirt, so erhält man

$$W = \frac{\frac{\rho}{2g} p F k C^2}{\varphi + \psi} \int_{-\psi}^{+\varphi} (\varphi - \alpha) \cos^2 \alpha d\alpha.$$

Da $W = Ph$, wenn P das Gewicht des Vogels, und h die Höhe bezeichnet, auf welche dieses Gewicht durch einen Flügelschlag gehoben wird, wo dann auch F die Fläche der beiden Flügel bezeichnen muß, so ergibt sich

$$17) \quad Ph = \frac{\frac{\rho}{2g} p F k C^2}{\varphi + \psi} \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{4}(\varphi + \psi)^2 \\ + \frac{1}{4}(\varphi + \psi) \sin 2\psi \\ + \frac{1}{8}(\cos 2\psi - \cos 2\varphi). \end{array} \right\}$$

Der Winkel, durch welchen der Flügel in einem Niederschlage bewegt wird, ist der Schlagwinkel (§. 129), welcher in Graden des Bogens ausgedrückt, künftig immer mit m bezeichnet werden soll; es ist daher, da $\varphi + \psi$ diesen Winkel für den Halbmesser $= 1$ ausdrückt, $\varphi + \psi = \frac{m\pi}{180}$.

Setzt man in (17) den eingeklammerten Faktor $= z$, so ist also

$$18) \quad Ph = \frac{\frac{\rho}{2g} p k F C^2}{\varphi + \psi} z$$

die mechanische Wirkung für einen Niederschlag zur Hebung des Vogels.

§. 166.

Die Geschwindigkeit des Niederschlages $= C$ wird durch die Zahl der Flügelschläge in einer Sekunde und durch die Zeit bestimmt, welche während eines Flügelschlages von dem Niederschlage gegen den Rückschlag eingenommen wird. Zu dieser Bestimmung sey die Zeit eines Niederschlages $= t$, die Zeit des Rückschlages $= t, = xt$; so ist, wenn die Zahl der Flügelschläge in einer Sekunde $= n$ ist, $n(t + tx) = 1$, folglich

$$t = \frac{1}{n(1+x)} \text{ und}$$

$$t' = \frac{x}{n(1+x)}.$$

§. 167.

C bezeichnet in 17) und 18) die im Niederschlage durch den Raum $s = k(\varphi + \psi)$ mittelst der gleichmäfsig wirkenden oder beschleunigenden Muskelkraft erzeugte Geschwindigkeit. Ist nun g' die Beschleunigung, welche im Niederschlage wirken muß, um

in der Zeit $= \frac{1}{n(1+x)}$ (in welcher der Raum $= s$ durchlaufen

wird) die Geschwindigkeit $= C$ zu erzeugen, so ist, da $g = \frac{C}{t}$,

$$g' = n(1+x)C$$

die Beschleunigung im Niederschlage. Nun ist $C^2 = 2g's$, also mit Substituierung von g' und s

$$19) \quad C = 2k(\varphi + \psi)n(1+x).$$

Wird dieser Werth von C in der Formel 18 substituirt, so ergibt sich

$$20) \quad Ph = \frac{2\rho''}{g} Fk^3 n^2 (1+x)^2 \approx (\varphi + \psi).$$

Bezeichnet H die Hebung in einer Sekunde, so ist, da

$$Ph \times n = PH$$

$$21) \quad PH = \frac{2\rho''}{g} Fk^3 n^3 (1+x)^2 \approx (\varphi + \psi),$$

als die Wirkung des Flügelschlages für eine Sekunde, oder dessen mechanisches Moment.

§. 168.

Während der Zeit des Rückschlages hört die hebende Kraft auf, und der Körper ist in dieser Zeit der freien Wirkung der Schwere überlassen. Ist die Höhe, welche der Körper im Falle in dieser Zeit zurücklegen würde $= h'$, so kann eine wirkliche Hebung nur dann erfolgen, wenn die durch den Flügelschlag bewirkte Hebung h gröfser ist als h' . Die Zeit des Rückschlages ist

$$t = \frac{x}{n(1+x)}, \text{ folglich}$$

$$22) \quad h' = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g \frac{x^2}{n^2 (1+x)^2},$$

wo, da diese Zeit nur sehr kurz ist, auf den Widerstand der Luft keine Rücksicht genommen werden darf. Um diesen Betrag sinkt der Körper während des Rückschlages, d. i. es wird die Hebung h um so viel durch die Schwere verzögert.

§. 169.

Hat der Vogel durch frühere Flügelschläge bereits eine gewisse Höhe erreicht, und er will sich in dieser erhalten, ohne weiter zu steigen, sondern nur horizontal fortziehen, so wird bei diesem Flügelschlage $P h = P h'$, oder die Hebung im Niederschlage dem Falle im Rückschlage gleich. Substituirt man daher in 20) für h den Werth von h' ; so erhält man

$$23) \quad P g = \frac{4 \rho v}{g} F k^3 n^4 \frac{(1+x)^4}{x^2} \approx (\varphi + \psi).$$

Das Minimum bei dieser Wirkung, oder die geringste Kraftanstrengung bei demselben Werthe von P findet Statt, wenn x so klein als möglich ist; dann wird nämlich der Bruch $\frac{(1+x)^4}{x^2}$ so groß als möglich, folglich die Werthe von n oder $\varphi + \psi$, von deren Gröfse für dasselbe x die Kraftanstrengung bei gleichem F und k abhängt, die geringsten, so daß sie dann gerade nur so groß werden, als nöthig ist, das Gewicht durch den Flügelschlag mit dem geringsten Kraftaufwande zu erhalten. Diese Wirkung des Flügelschlages werde als die Normalwirkung bezeichnet. Bei derselben erhält sich der Vogel mit derjenigen Anstrengung, die seinem Gewichte entspricht, in der Horizontalebene, und zieht in derselben mit der geringsten Geschwindigkeit fort; es ist diejenige Wirkung, die beiläufig dem gewöhnlichen Schritte oder Gange der Säugthiere entspricht.

§. 170.

Die Totalhebung durch einen Flügelschlag ist $= h$, folglich die effektive Hebung, um welche der Vogel durch einen Flügelschlag steigt, $= h - h' = h_0$, demnach ist aus 20) und 22)

$$24) \quad h_0 = \frac{2 \rho^p F k^3 n^2 (1+x)^2 z (\varphi + \psi)}{P} - \frac{1}{2} g \frac{x^2}{n^2 (1+x)^2}.$$

Für $h = h'$ oder $h_0 = 0$ tritt die Wirkung in 23) ein. Die effektive Hebung nähert sich also um so mehr der Totalhebung, je gröfser n und je kleiner x , oder der Nutzeffekt, der durch $\frac{h-h'}{h}$ bezeichnet wird, wird um so gröfser; und im Gegentheil bei demselben n um so kleiner, je mehr x zunimmt.

Die effektive Hebung h_0 multipliziert mit der Zahl der Flügelschläge in einer Sekunde und mit der Zeit T , gibt die senkrechte Steigung des Vogels in T Sekunden. Die durch den Flügelschlag bewirkte senkrechte Bewegung des Vogels aufwärts würde eine beschleunigte seyn, wenn die Schwere nicht entgegenwirkte; durch diese Wirkung wird dieselbe, die ohnehin nur gering ist, nahe gleichförmig, oder die Verzögerung hebt die Beschleunigung auf. Man mufs daher annehmen, dafs die Totalhebung $= h$ am Ende des Flügelschlages, d. i. des Niederschlages und des Rückschlages durch die Schwere elidirt sey, so dafs in diesem Zeitpunkte die effektive Hebung $= h_0$ bereits erfolgt ist. Nur dann würde eine Beschleunigung erfolgen; wenn die Flügelschläge sehr schnell und dabei mit solcher Kraft auf einander folgten, dafs am Ende des ersten Flügelschlages noch ein Theil von h_0 übrig bliebe, mit welchem auch nach Aufhören des Flügelschlages die Bewegung aufwärts fortgesetzt würde, zu welchem dann derselbe Theil durch den zweiten Flügelschlag u. s. w. hinzu käme. Allein auch bei den schnellen Flügelschlägen der senkrecht steigenden Lerche (der Widerstand auf die Rückenfläche ist bei dieser langsamen Bewe-

gung als verschwindend anzusehen), und bei den außerordentlich schnellen Flügelschlägen der zweiflügeligen Insekten bemerkt man keine derlei Beschleunigung der senkrechten Hebung, so daß diese aus dem oben angegebenen Grunde als eine gleichförmige anzunehmen ist.

§. 171.

Der Werth von z in den obigen Formeln hängt sowohl von der absoluten GröÙe von $\varphi + \psi$, als auch von dem Verhältnisse beider gegen einander ab. Es ist bereits früher (§. 126) angegeben worden, daß, der anatomischen Struktur gemäß, die Flügel des Vogels sich zwar bis zur senkrechten Lage erheben können, φ folglich bis zu 90° wachsen kann, daß jedoch ihre Bewegung unterhalb der Horizontallinie auf einen kleineren Winkel, höchstens bis etwa zu 40° Graden beschränkt sey. Auch sehen wir, wenn der Vogel starke Flügelschläge macht, wie beim Aufsteigen, den Schlagwinkel hauptsächlich oberhalb der Horizontallinie vergrößert. Denn von dieser Erhebung hängt die Endgeschwindigkeit in der Horizontalebene ab, in welcher der Widerstand, der sich für die Hebung wie $\cos \varphi$ verhält, also $= 1$ für $\varphi = 0$ wird, ganz zur Hebung verwendet wird. Indem sich die Beschleunigung unterhalb der Horizontallinie fortsetzt, vermindert sich ihre Wirkung für die Hebung, obgleich sie immer zunimmt, doch verhältnißmäßig mit der Vergrößerung von ψ , so daß dabei ein immer größerer Theil des Totaleffektes verloren geht.

Für einen bestimmten Werth von $\varphi + \psi$ muß also zwischen φ und ψ ein Verhältniß Statt finden, bei welchem die Wirkung ein Größtes wird. Setzt man daher in dem Werthe von z in 17)

$\varphi + \psi = a$, $\varphi = \nu \psi$, also $\varphi = \frac{\nu a}{\nu + 1}$ und $\psi = \frac{a}{\nu + 1}$, und differenziirt, so erhält man

$$\frac{dz}{d\nu} = \frac{a}{2(\nu + 1)^2} \left(\frac{1}{2} \sin \frac{2a}{\nu + 1} + \frac{1}{2} \sin \nu \frac{2a}{\nu + 1} - a \cos \frac{2a}{\nu + 1} \right) = 0,$$

demnach für das Maximum

$$\sin \frac{2a}{v+1} + \sin v \frac{2a}{v+1} = 2a \cos \frac{2a}{v+1}.$$

§. 172.

Hiernach sind in der folgenden Tafel für die verschiedenen Schlagwinkel m , denen die Werthe von $\varphi + \psi$ entsprechen, die Werthe von v in der zweiten, und von z in der dritten Kolumne berechnet.

m	v	z
60°	2.054	0.5165
65°	2.064	0.6000
70°	2.074	0.6875
75°	2.087	0.7811
80°	2.100	0.8780
85°	2.115	0.9785
90°	2.130	1.0827
95°	2.144	1.1881
100°	2.169	1.2984
110°	2.213	1.5237
120°	2.268	1.7556
130°	2.320	1.9897

Der Schlagwinkel m dividirt durch $v + 1$ gibt den Winkel ψ unter der Horizontallinie in Graden des Bogens. Dieser Winkel nimmt also immer mehr ab, je mehr der Schlagwinkel zunimmt. Bei kleinen Schlagwinkeln beträgt er nahe die Hälfte des Winkels φ . Nimmt man $m = 130^\circ$, so wird $\varphi = 90^\circ 51'$ und $\psi = 39^\circ 9'$. Da nun der Winkel φ nicht größer als 90° werden kann, so erreicht der größte Schlagwinkel nicht ganz 130° ; so daß der Win-

kel ψ nur nahe 39° erreichen kann, was sonach mit der oben (§. 126) erwähnten physiologischen Bestimmung übereinstimmt.

§. 173.

Außer der verschiedenen Gröfse des Schlagwinkels hat der in den obigen Formeln eingeführte Werth von x den größten Einfluß auf die Beschaffenheit des Flügelschlages, weil er eigentlich das Verhältniß der Kraft bemifst, mit welcher der Niederschlag des Flügels bewirkt wird. Denn der Werth von x bestimmt die Dauer des Rückschlages gegen jene des Niederschlages, dessen Zeit $= \frac{1}{n(1+x)}$ ist (§. 166); bei derselben Zahl $= n$ der Flügelschläge in einer Sekunde wird diese Zeit also um so kürzer, daher der Niederschlag um so schneller, demnach energischer, je größer x wird. Dieser Werth ist daher veränderlich, und hängt mit den verschiedenen Graden von Anstrengung zusammen, die der Vogel im Fluge macht.

Das Zeitverhältniß dieser Flügelbewegungen, des Niederschlages und Rückschlages, läßt sich, wegen ihrer Schnelligkeit, aus der Beobachtung nicht bestimmen. Überdem findet hier eine optische Täuschung Statt, die uns das Bild des im Niederschlage ausgebreiteten Flügels auch noch während des Rückschlages, welcher mit der Einziehung desselben erfolgt, erscheinen läßt, so daß bei schnellen Flügelschlägen immer nur der ausgebreitete Flügel gesehen wird; nur bei den langsamen Flügelschlägen der größten Vögel wird die Einziehung während des Rückschlages zum Theil bemerkbar. Aus dieser täglichen Beobachtung läßt sich im Allgemeinen nur so viel schließen, daß der Rückschlag gegen den Niederschlag im gewöhnlichen Falle nur einen Theil der Zeit des letzteren einnimmt, wie es auch aus den anatomischen Verhältnissen hervorgeht (§. 128).

§. 174.

Von der Geschwindigkeit des Flügelschlages $= C$ hängt, wie sich in der Folge ergibt, die Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung des Vogels ab; diese Geschwindigkeit nimmt aber zu mit der Grösse von x , bei derselben Zahl der Flügelschläge und demselben Schlagwinkel. Wenn daher der Vogel mit Anstrengung eine grössere Geschwindigkeit erstrebt, so hat er kräftigere Flügelschläge oder ein grösseres x nothwendig, wobei er jedoch, wie aus 24) erhellet, an der Hebung verliert. Wenn es sich aber um die effektive Hebung, folglich Steigung, und um das Fortschreiten mit mittlerer Geschwindigkeit, oder um die Erhaltung des Gewichtes bei der geringsten Kraftanstrengung in der Normalwirkung handelt (§. 169); so kommt es darauf an, dass der Rückschlag so wenig Zeit, wie möglich, wegnehme, folglich x den kleinsten Werth erhalte. Wir müssen daher sehen, die Grenzen des Werthes von x aus der Natur der Sache zu bestimmen.

Diese Grenzen lassen sich aus der Formel 23), welche die Wirkung des Flügelschlages für $h_0 = 0$ gibt, entnehmen, denn in derselben kann sowohl x am grössten seyn, als auch (bei der Normalwirkung) am kleinsten, oder für dasselbe P kann die Kraftanstrengung die grösste oder die kleinste werden. Der erste Fall ist vorhanden, wenn der Werth des Faktors $\frac{(1+x)^4}{x^2}$ ein Kleinstes wird, weil dann die Werthe von n und $\approx (\varphi + \psi)$ ein Grösstes werden für dieselbe Wirkung. Nun hat der Bruch $\frac{(1+x)^4}{x^2}$ den kleinsten Werth für $x = 1$; demnach ist $x = 1$ das Maximum seines Werthes; d. i. die Zeit des Rückschlages ist am grössten, wenn sie jener des Niederschlages gleich ist.

Bei der Normalwirkung oder dem zweiten Falle wird der Faktor $\frac{(1+x)^4}{x^2}$ so gross als möglich, indem dabei n und $\approx (\varphi + \psi)$

den kleinsten Werth erhalten (§. 169). Dieser Bruch gibt gleiche Werthe für $x = a$ und $x = \frac{1}{a}$; da jedoch nach dem Vorigen x unterhalb des Maximums kleiner als $= 1$ seyn muß; so muß in diesem Falle x ein, so viel nach den übrigen Verhältnissen möglich, kleiner Bruch werden, damit $\frac{(1+x)^4}{x^2}$ möglichst groß werde. Wenn man daher für diese Normalwirkung die Werthe von n und m aus der Beobachtung nimmt; so läßt sich hiernach der Werth von x aus der Formel 23) berechnen.

Wir wählen für diesen Zweck die S a a t k r ä h e, bei welcher wegen des häufigeren Vorkommens dieses Vogels, seiner bedeutenderen Gröfse und der den Ruderflüglern eigenen gleichförmigeren Flugbewegung sich die Werthe von n und m mit mehr Sicherheit beobachten lassen. Hiernach ist

$$\rho = 3.86, \quad p = \frac{56.4}{810} \text{ Pfund}, \quad g = 31' 015, \quad F = 2 \times \frac{87\frac{1}{2}}{144} \text{ Q. F.},$$

$$k = \frac{1}{2} l = \frac{1}{2} \cdot 17\frac{1}{2}'' = \frac{8.75}{12}, \quad P = \frac{30}{32} \text{ Pfund.}$$

Der Beobachtung nach macht dieser Vogel nahe an 4 Flügelschläge in einer Sekunde bei der größten Anstrengung, wie beim Aufsteigen; beim gewöhnlichen, mehr oder weniger schnellen, Fluge macht er 3 Flügelschläge und darunter bis beiläufig zu $2\frac{1}{2}$, was sich natürlich für kleinere Bruchtheile nicht bestimmen läßt. Nimmt man also als Minimum für $n = 2\frac{1}{2}$, und dazu den Schlagwinkel $m = 90^\circ$; so ist $z = 1.082$ (§. 172) und $\varphi + \psi = \frac{\pi}{2}$.

Werden diese und die obigen Werthe in der Formel 23) substituiert, so ergibt sich $\frac{(1+x)^4}{x^2} = 26.83$; was für x etwas mehr als $\frac{1}{3}$ gibt. Setzt man $x = \frac{1}{3}$, und bestimmt hiernach n^4 aus der Formel, so ergibt sich $n = 2.464$. Nimmt man $m = 85^\circ$, so wird $n = 2.563$. Hiernach kann mit der Beobachtung über-

einstimmend das Minimum für $x = \frac{1}{3}$ angenommen werden, so dafs, wenn die Zeit eines Flügelschlages in 4 Theile getheilt wird, davon 3 Theile auf den Niederschlag und 1 Theil auf den Rückschlag kommen. Dieses Verhältnifs findet sich auch bei den Bewegungen des Armes eines Menschen, wenn derselbe, wie bei den Schwimmbewegungen, mit Schnelligkeit bewegt wird. Demnach liegen die Grenzen von x zwischen $x = 1$ und $x = \frac{1}{3}$.

§. 175.

Die durch die Gröfse von x bedingte Schnelligkeit des Niederschlages steht mit der Beschaffenheit des Flügels, nämlich seiner gröfseren oder geringeren Steifheit in Verbindung, worin die Schnellflügel den Ruderflügeln vorgehen. Je weicher die Flügel sind, desto weniger verträgt bei gleichem Werthe von n das leichte Aufbiegen ihrer Federn einen grofsen Werth von x . Verhältnifsmäfsig kurze Flügel sind daher in der Regel immer mit steifen Federn ausgerüstet, und ihr Niederschlag geschieht schnellend oder mit gröfserem x , wie bei den Hühnerarten, was auch mehr oder weniger bei allen kleineren Vögeln der Fall ist. Grofse Vögel mit langen Flügeln ersetzen die Wirkung durch einen gröfseren Schlagwinkel bei kleinerem x , und vergröfsern den Werth des letzteren nur ausnahmsweise für kürzere Zeit, und in soweit, als er der Steifigkeit ihrer Flügel entspricht. Im Allgemeinen gehört, bei gleicher Zahl der Flügelschläge, für denselben Vogel zu dem kleineren x der gröfsere Schlagwinkel, und umgekehrt. Denn bei der gröfseren Zeit des Niederschlages kann auch, ohne intensiv erhöhte Muskelanstrengung, ein gröfserer Raum durchlaufen werden. Bei dem mehr energischen oder schnellenden, in kürzerer Zeit mit erhöhter Kraftanstrengung bewirkten Niederschlage wird der Schlagwinkel verhältnifsmäfsig kleiner; Bedingungen, welche überhaupt in der Natur der Muskelbewegung gegründet sind.

§. 176.

Während eines Flügelschlages trägt auch der Mechanismus des Rückschlages einigermaßen zur Hebung bei. Denn durch die Kontraktion des kleinen Brustmuskels, welcher die Hebung oder Umrollung des eingezogenen Flügels bewirkt, zieht dessen eines Ende mit demselben Momente das Brustbein in die Höhe, als das andere durch das Loch des Schultergerüsts laufende auf die Drehung des Oberarmbeinkopfes, deren Druck nicht nach abwärts, sondern hauptsächlich nach innen seitwärts und rückwärts gerichtet ist, wirkt. Von der analogen Wirkung kann man sich leicht überzeugen, wenn man sich auf eine Wage stellt, und mit feststehenden Füßen die Arme schnell in die Höhe zieht; es erfolgt eine Hebung oder Erleichterung des Körpers vermöge der Reaktion des Deltamuskels, die um so merkbarer ist, je schneller die Bewegung geschieht.

Um diese Wirkung zu bemessen, sey das Flügengewicht $= p'$, die Entfernung des Schwerpunktes des eingezogenen Flügels vom Umdrehungspunkte $= k'$; der Hebungswinkel ist dem Schlagwinkel gleich, und die durch den Rückschlag bewirkte Hebung sey $= h''$, so ist, da die Zeit eines Rückschlages $= \frac{x}{n(1+x)}$,

$$h'' = \frac{p'}{P} k' (\varphi + \psi) \frac{n(1+x)}{x}.$$

Diese Hebung wird also um so größer, je größer, außer dem Verhältniß des Flügel- und Körpergewichtes und dem Schlagwinkel, die Entfernung des Schwerpunktes und je größer die Zahl der Flügelschläge in einer Sekunde. Es ergibt sich daraus: 1) daß eine nicht völlige Einziehung des Flügels beim Rückschlage (wodurch der Schwerpunkt weiter hinausfällt) von keinem besonderen Nachtheile ist, zumal die mittelst des Deckfittigs nach der Einziehung der Schwinge gewölbte Form des Flügels bei der Umrollung nur einen geringen Widerstand entgegensetzt, der größten-

theils nach innen seitwärts wirkt; dieses ist um so mehr der Fall, je mehr Zeit bei einem gröfseren Werthe von x der Rückschlag einnimmt; 2) dafs der Einfluss dieser Hebung bedeutender ist bei kleinen Vögeln, die verhältnismäfsig mehr Flügelschläge machen, als bei gröfseren. In jedem Falle macht diese Hebung nur einen kleinen Theil der durch den Niederschlag bewirkten aus, dessen numerischer Werth jedoch schwer zu bestimmen ist, weil durch den Zug des Muskels, seiner vortheilhaften Lage ungeachtet, doch noch einiger Druck nach unten vorhanden ist, welcher einen Theil der Wirkung aufhebt. Man mufs demnach annehmen, dafs diese Wirkung dazu diene, um den auf die mehr oder weniger eingezogene obere Flügelfläche bei ihrer Umrollung im Rückschlage noch Statt findenden Luftwiderstand aufwärts aufzuheben, indem mittelst jener Wirkung eine entgegengesetzte, jenem Widerstande proportionale, Kraft thätig ist, die also in dem Mafse wächst, als der Widerstand selbst durch die Vergrößerung von k , oder n gröfser wird.

Warum bei der Bestimmung der Wirkung des Niederschlages auf das Flügengewicht keine Rücksicht genommen, sondern dasselbe bei diesem Vorgange als verschwindend angesehen wird, davon kann der Grund erst späterhin angegeben werden (§. 217).

Drittes Kapitel.

Von der Wirkung des Niederschlages zur Vorwärtsbewegung.

§. 177.

Bei dem senkrechten Niederschlage einer horizontalen Ebene, wie er im Vorigen betrachtet worden, kann nur die Hebung, aber keine Vorwärtsbewegung Statt finden. Damit letztere erfolge, mufs

der Niederschlag der Flügelebene unter einem Winkel mit der durch die Axe des Vogels gelegten Ebene erfolgen, weil dann ein Theil des durch den Niederschlag erzeugten Widerstandes unter einem rechten Winkel mit der Hebungsrichtung wirkt. Wir haben im ersten Theile gesehen, daß der Flügel des Vogels so eingerichtet ist, daß einzelne Theile desselben zunächst für diese Bedingung wirken, und mittelst derselben die Vorwärtsbewegung auch dann würde bewirkt werden, wenn der Niederschlag der Flügelebene senkrecht erfolgt. Um jedoch diese Aufgabe allgemein zu behandeln, müssen wir annehmen, daß aufser dieser Wirkung auch noch der schiefe Niederschlag der Flügelebene Statt finde, da die Einrichtung des Flügelgelenkes eine geringe Drehung des Flügelarms gestattet (§. 21), und dann jene Wirkung der vorwärtsschiebenden Flügeltheile auf diese schiefe Ebene reduzieren, so daß in dieser Beziehung die Totalwirkung durch den Niederschlag der zur horizontalen unter einem kleinen Winkel geneigten Flügelebene gegeben wird. Es wird sich dann in der Folge zeigen, ob diese Annahme eines schiefen Niederschlages der Ökonomie der Natur, folglich der Wirklichkeit entspricht.

§. 178.

Die verschiedenen Stellungen der Flügelebene, welche bei diesem Niederschlage Statt finden können, sind folgende.

Fig. 29. Es sey in der Fig. 29 ab ein Durchschnitt der Flügelebene, parallel zur Axe des Vogels, uz die horizontale oder überhaupt die Richtung der Vorwärtsbewegung, und der Flügel bewege sich in der Richtung eC nach ab- und rückwärts, folglich unter dem Winkel $\alpha + \beta$ mit dieser Richtung. Die Geschwindigkeit, die dem Widerstandspunkte des Flügels in der Durchschnittslinie ab bei irgend einer Winkelstellung des Flügels entspricht, sey $= C$; so zerlegt sich diese Geschwindigkeit in der Richtung $Ce = ef$ in ed senkrecht auf die Flügelebene $= C \sin(\alpha + \beta)$, und in

ei parallel zu derselben, welche durch die feste Haltung des Flügels in seiner Lage elidirt wird. Da nun der Widerstand sich wie das Quadrat der Geschwindigkeit verhält, so ist die Kraft oder der Widerstand nach $ed = C^2 \sin^2 (\alpha + \beta) = p$. Diese Kraft zerlegt sich in Beziehung auf die Richtung $u \propto$ in die senkrechte eh und die horizontale hd , daher der Widerstand nach $eh = p \cos \alpha$, und nach $hd = p \sin \alpha$. Bezeichnet man die Kraft aufwärts zur Hebung mit $\mathcal{U}$, und die vorwärtsschiebende Kraft mit $\mathfrak{B}$, so ist daher

$$\begin{aligned} 25) \quad \mathcal{U} &= C^2 \sin^2 (\alpha + \beta) \cos \alpha, \text{ und} \\ \mathfrak{B} &= C^2 \sin^2 (\alpha + \beta) \sin \alpha, \end{aligned}$$

wobei der konstante Faktor $\frac{\rho^n}{2g} F$, der die absolute Gröfse des Widerstandes bestimmt, verstanden wird.

Für $\beta = 90^\circ$, d. i. wenn der Niederschlag des Flügels unter dem Winkel α senkrecht auf $u \propto$ erfolgt, also in der Richtung eg , ist

$$\begin{aligned} 26) \quad \mathcal{U} &= C^2 \cos^3 \alpha \\ \mathfrak{B} &= C^2 (\cos^2 \alpha \sin \alpha). \end{aligned}$$

Für $\alpha + \beta = 90^\circ$, d. i. wenn der Niederschlag unter dem Winkel α normal auf die Flügelebene oder in der Richtung ek erfolgt, ist

$$\begin{aligned} 27) \quad \mathcal{U} &= C^2 \cos \alpha \\ \mathfrak{B} &= C^2 \sin \alpha. \end{aligned}$$

Für $\alpha = 0$, d. i. wenn der Flügel in der Horizontalebene liegt, und der Niederschlag unter dem Winkel β mit letzterer, oder in der Richtung eC erfolgt, ist

$$\begin{aligned} 28) \quad \mathcal{U} &= C^2 \sin^2 \alpha \\ \mathfrak{B} &= C^2 \cos^2 \alpha. \end{aligned}$$

Für $\alpha = 0$ und $\beta = 90^\circ$ tritt der Fall des senkrechten Niederschlages ein, für welchen $\mathcal{U} = C^2$ und $\mathfrak{B} = 0$; für $\alpha = 90^\circ$

und $\beta = 0$ bewegt sich die Flügelebene senkrecht auf der horizontalen, und es wird $\mathfrak{A} = 0$, und $\mathfrak{B} = C^2$.

Bei diesen verschiedenen Bewegungen findet ein verschiedener Kraftverlust Statt, je nachdem von der parallelen in die Flügelebene fallenden Kraft mehr oder weniger elidirt wird. In 25) ist dieser Kraftverlust $= \cos^2 (\alpha + \beta) (\cos \alpha - \sin \alpha)$; in 26) $= \sin^2 \alpha (\cos \alpha - \sin \alpha)$, also in beiden Fällen $= 0$ für $\alpha = 45^\circ$; in 27) und 28) ist er $= 0$.

Nur die beiden letzten Fälle sind also für die schiefe Richtung des Niederschlages geeignet, und zwar vorzugsweise der Fall 27), denn nimmt man β als das Komplement zu α , so wird die Wirkung in 28) kleiner als in 27). Wir müssen also den Niederschlag des Flügels, wenn er in schiefer Richtung Statt findet, so annehmen, daß die Richtung der Bewegung normal auf die mit der horizontalen unter dem Winkel α geneigte Flügelebene erfolgt, nämlich in der Richtung ek der Fig. 28, wenn ux in der Längsaxe des Vogelkörpers liegt, oder ihr parallel ist, so daß daher nach 27) die Kraft vorwärts durch $\mathfrak{B} = C^2 \sin \alpha$ ausgedrückt wird.

§. 179.

Es bezeichne nun v die Geschwindigkeit, mit welcher der Vogel vorwärts bewegt wird, und C sey die Geschwindigkeit, die durch den senkrechten Niederschlag erzeugt wird (§. 167). Senkrecht auf die Flügelfläche reduzirt ist die Geschwindigkeit

$$= C \sin (\alpha + \beta),$$

da aber $\alpha + \beta = 90^\circ$, so bleibt sie hier unverändert. Bezeich-

net in der Fig. 30 ef die Geschwindigkeit vorwärts $= v$; so ist diese, senkrecht auf die Flügelebene reduzirt, $= v \sin \alpha = v'$. Die relative Geschwindigkeit, welche zur Vorwärtsschiebung wirken kann, ist also

$$= C - v' = C - v \sin \alpha.$$

Setzt man diesen Werth der relativen Geschwindigkeit für C in 27), so ist mit Hinzufügung der Konstanten die Widerstandskraft zur Vorwärtsbewegung

$$= \frac{\rho^n}{2g} F^0 (C - v \sin \alpha)^2 \sin \alpha,$$

wo ρ nach (§. 158) die der Geschwindigkeit zugehörige Widerstandshöhe für eine Fläche in der Drehungsbewegung bezeichnet, und F^0 eine Ebene, welche unter dem Winkel α bewegt, dieselbe Wirkung für die Vorwärtsschiebung haben würde, welche sowohl durch dieselbe Neigung der wahren Flügelfläche, als auch durch die Wirkung der verschiedenen Flügeltheile im Ganzen hervorgebracht würde.

Indem der Vogelkörper sich vorwärts bewegt, erleidet er in der Luft einen dieser Bewegung entgegenwirkenden Widerstand, welcher durch $\rho' v^2$ und die widerstehende Fläche seines Körpers bemessen wird, wo ρ' nach (§. 155) die der Geschwindigkeit entsprechende Widerstandshöhe für eine geradlinig bewegte Fläche bezeichnet. Diese Fläche auf die gegen die Bewegungsrichtung senkrechte Ebene reduziert, sey $= f^0$, nämlich eine Ebene, welche senkrecht auf die Richtung der Bewegung denselben Widerstand erleidet, als die verschiedentlich gekrümmten oder abgerundeten Theile des Körpers und des Flügels; so ist das Kraftmoment dieses Widerstandes $= \frac{\rho'^n}{2g} f^0 v^2$.

Nach dem ersten Flügelschlage erlangt der Vogel eine gewisse Geschwindigkeit, die sich beim zweiten wiederholt, eben so beim dritten u. s. f., so daß seine Bewegung eine beschleunigte wird, deren Geschwindigkeit (kurze Zeit hindurch) so lange zunimmt, bis das Widerstandsmoment des Körpers in seiner Vorwärtsbewegung jenem der Flügelwirkung gleich wird, wo dann der Beharrungsstand eintritt, indem die Bewegung gleichförmig wird. Diese Grenze der Geschwindigkeit ist also vorhanden, wenn

die obigen Momente gleich werden, oder wenn

$$29) \quad \frac{\rho p}{2g} F^0 (C - v \sin \alpha)^2 \sin \alpha = \frac{\rho' p}{2g} f^0 v^2.$$

Hieraus ergibt sich die Geschwindigkeit, welche der Vogel unter dem Flügelschlage, welcher C bedingt, und unter dem Verhältnisse von $\frac{f^0}{F^0}$ erreichen kann, oder

$$30) \quad v = \frac{C}{\sin \alpha + \sqrt{\frac{\rho' f^0}{\rho F^0 \sin \alpha}}}$$

Die Dichtigkeit der Luft oder der Werth von p hat also auf die Bestimmung von v keinen Einfluss, denn in dem Maße, als sich der vordere Widerstand mit dem Werthe von p verändert, verändert sich auch im gleichen Sinne der vorwärts wirkende Widerstand des Flügels.

§. 180.

Dieser Ausdruck von v hat ein Maximum für den Winkel α . Differenziirt man daher die Gleichung 29) in Bezug auf v und α , so erhält man, wenn man $\frac{\rho' f^0}{\rho F^0} = r$ setzt,

$$\begin{aligned} & dv [2rv + 2 \sin^2 \alpha (C - v \sin \alpha)] \\ &= d\alpha (C - v \sin \alpha) [2v \sin \alpha \cos \alpha - \cos \alpha (C - v \sin \alpha)]. \end{aligned}$$

Soll $\frac{dv}{d\alpha} = 0$ werden, so muß für ein Maximum der zweite

Faktor des zweiten Gliedes = 0 seyn, folglich

$$2v \sin \alpha \cos \alpha = \cos \alpha (C - v \sin \alpha).$$

Hieraus ergibt sich

$$v = \frac{C}{3 \sin \alpha}.$$

Durch Substitution dieses Werthes in der Gleichung 29) erhält man

$$\frac{r}{9 \sin^2 \alpha} = \sin \alpha - \frac{2}{3} \sin \alpha + \frac{\sin \alpha}{9},$$

demnach

$$r = 4 \sin^3 \alpha, \text{ oder}$$

$$31) \sin^3 \alpha = \frac{1}{4} \frac{\rho' f^0}{\rho F^0}.$$

Auf die Gröfse der Neigung der Flügelebene für das Maximum der Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung hat also die Geschwindigkeit des Niederschlages keinen Einfluss, sondern jene Neigung hängt nur allein von der Gröfse $\frac{\rho' f^0}{\rho F^0}$, d. i. von dem Verhältnisse der Widerstandsfläche des Körpers des Vogels zu jener des Flügels ab. Der Winkel α wird dabei nur klein, wenn jenes Verhältnifs klein ist; ist z. B. der Werth jenes Verhältnisses $= 0.01$, so wird $\alpha = 7^\circ 48'$, und dafür $v = 2.456 C$. Wäre dagegen jener Werth $= 0.1$, so würde $\alpha = 17^\circ$ betragen, und $v = 1.140 C$ werden.

§. 181.

In der Formel 30) müssen die Werthe von F^0 und f^0 bestimmt werden. Der Werth von F^0 besteht: *a*) aus der wirklichen Fläche der Flügel $= F$; *b*) aus der Fläche der vorderen Flügelkante, welche im Niederschlage zur Vorwärtsschiebung wirkt (§. 132); *c*) aus der für diese Vorwärtsschiebung wirkenden Fläche der Ruderfedern (§. 103). Der Werth von f^0 begreift: *a*) die widerstehende Vorderfläche des Vogelkörpers; *b*) die Theile des Flügels, welche in der Vorwärtsbewegung Widerstand leisten.

§. 182.

Ein Hauptmittel der Vorwärtsbewegung bildet bei allen Flügeln, sowohl den Ruder- als Schnellflügeln, die vorwärts nach aufsen konvex, nach innen konkav gewölbte vordere Kante des Flügels, welche durch den Windfang und durch dessen mit der Haut des Rumpfes verbundene Fortsetzung (§. 70), durch den Lenkfittich, die Lenkfeder und die nach abwärts durch die Wirkung des Vorwärtswenders des grossen Fingers gewölbten zwei

ersten Schwungfedern, nämlich durch den Theil derselben, welcher hinter der Lenkfeder liegt, gebildet wird, und welche wir mit dem Namen der Schranke bezeichnen. Die Ebene der Projektion dieser gewölbten Fläche steht auf der Flügelebene senkrecht. Hat diese Projektion dieselbe Form und Länge, wie der Flügel selbst, so wird ihr Widerstandspunkt mit dem des letzteren in demselben Querschnitte liegen; ist dieses nicht der Fall, so ist, wenn die Fläche dieser Projektion mit f' , und die Entfernung ihres Widerstandspunktes von der Drehungsaxe mit k'' bezeichnet wird, zur Reduktion auf den Widerstandspunkt und denselben Neigungswinkel des Flügels,

$$a'' = f' \frac{k''^2}{k^2 \sin \alpha},$$

wo a'' die Fläche bezeichnet, welche die Schrankenfläche in der Flügelebene einnehmen müßte, um denselben Widerstand nach vorwärts hervorzubringen.

§. 183.

Die Ausschnitte der Ruderfedern (§. 103) erhalten sowohl durch die Wirkung des Streckers und des Vorwärtswenders des grossen Fingers (§. 58, 59), als durch den Druck der Luft selbst eine schiefe Stellung, deren Winkel $= \beta$ jedenfalls gröfser ist, als die Neigung der Flügelebene $= \alpha$. Der gemeinschaftliche oder mittlere Widerstandspunkt dieser Ausschnitte sey $= k$, ihr gesammter Flächeninhalt sey $= f$, so ist zur Reduktion auf denselben Widerstandspunkt und denselben Neigungswinkel der Flügelebene

$$a' = f \frac{k^2 \sin \beta}{k^2 \sin \alpha},$$

wo a' die Fläche bezeichnet, welche die Fläche der Ruderfedern in der Flügelebene unter demselben Widerstandspunkte k und demselben Winkel α einnehmen würde, damit die gleiche Wirkung des Widerstandes nach vorwärts Statt finde.

§. 184.

Diese reduzierten Werthe müssen, um für ρF^0 substituirt werden zu können, noch mit ihrem zugehörigen Koeffizienten der Widerstandshöhe multipliziert werden. Dieser ist für F jener der Drehungsbewegung $= \rho$, folglich auch für f oder für die Schranke. Für die Ruderfedern ist er geringer, da derselben Widerstandspunkt weiter hinaus liegt, und er ist (§. 156) nur wenig größer als der für die geradlinige Bewegung, kann also im Minimum $= \rho'$ gesetzt werden. Hieraus erklärt sich, warum die Ausschnitte der Ruderfedern von der Wurzel bis nahe zur Spitze die gleiche Breite behalten (§. 103), ihr Widerstandspunkt sonach nahe in ihrer halben Länge liegt.

Bezeichnet demnach wie oben F^0 eine unter dem Winkel α geneigte Flügelfläche, welche im Niederschlage dieselbe Wirkung vorwärts erzeugen würde, als die wirkliche unter α geneigte Flügelfläche, die Ruderfedern und die Schranke zusammen genommen, so ist

$$32) \quad \rho F^0 = \rho F + \rho' f \frac{k'^2 \sin \beta}{k^2 \sin \alpha} + \rho f' \frac{k''^2}{k^2 \sin \alpha},$$

wo F , f und f' die gleichnamigen Flächen für beide Flügel bezeichnen. $F^0 \sin \alpha$ ist daher die gesammte für die Vorwärtsbewegung wirksame Fläche auf die senkrechte reduzirt.

§. 185.

f^0 bezeichnet eine auf die Richtung der Vorwärtsbewegung des Vogels senkrechte Ebene, welche denselben Widerstand erleiden würde, als die verschiedenen Körpertheile, welche der Bewegung nach vorwärts einen Widerstand entgegen setzen.

Der Körper des Vogels ist vermöge der Streckung seines Halses und seiner Federbedeckung so gebaut, daß er in seiner Vorwärtsbewegung, vorausgesetzt, daß diese in der Richtung seiner Längsaxe geschieht, den möglichst geringsten Widerstand

erfährt. Die Federn sind dabei sowohl durch die Wirkung der Hautmuskeln, als durch den Druck der Luft bei der Vorwärtsbewegung straff anliegend und eine glatte Fläche bildend. Zwar bildet der Durchschnitt des Rumpfskeletts nahe eine Ellipse (§. 20), durch die stärkere Federmasse an den Seiten wird jedoch die Form nahe kreisförmig, so daß die Form des Vordertheiles bei der Streckung des Halses, wie diese immer im Fluge Statt findet, jene des Kegels ist.

Der größte Widerstand, den man diesem Vordertheile beimessen kann, ist also jener, den die Versuche für eine kegelförmige Fläche geben, nämlich für die Ebene

$$= w \sin \omega$$

(§. 159), wenn ω den Einfallswinkel der Seitenlinien des Kegels, und w dessen Grundfläche bedeutet.

Die Projektionsebene der Schranke ist $= f'$. Ihre vordere Wölbung ist bei allen Vögeln auf ähnliche Weise, ohne Zweifel in der besten Form zur Verminderung des Widerstandes gebildet (§. 95); man kann also dieselbe als eine aus schmalen Kugelsegmenten gebildete Fläche betrachten, und für dieselbe höchstens $\frac{2}{5}$ des senkrechten Widerstandes auf die Projektionsebene (§. 159) annehmen. Hiernach beträgt die Widerstandsfläche der Schranke

$$= 0.4 f'.$$

Diese widerstehende Fläche ist jedoch nur für die Zeit des Niederschlages wirksam, weil während des Rückschlages der Flügel eingezogen, und während dieser Zeit diese Fläche bedeutend verändert ist. Da nun die Zeit des Niederschlages $= \frac{1}{n(1+x)}$ ist

(§. 166), so ist die wahre Fläche, die dem Widerstande der Schranke nach vorwärts entspricht,

$$= \frac{0.4 f'}{n(1+x)}.$$

Dieser Widerstand wird also um so kleiner, je größer x oder je länger der Rückschlag.

Der während der Bewegungen des Rückschlages eingezogene Flügel bildet dadurch, daß mittelst der elastischen Sehhaut des Windfanges die Federbedeckung derselben sich zwischen dem Oberarm und Vorderarm anhäuft, während die Schwinge rückwärts geschlagen ist, eine gewölbte Fläche, deren Projektionsebene bedeutend geringer ist als f' ; sie sey $= qf'$, wo q ein Bruch ist, welcher der GröÙe dieser Flächenverminderung entspricht. Ihre Widerstandsfläche ist also

$$= 0.4 qf'.$$

Da nun diese Fläche innerhalb der Zeit $= \frac{x}{n(1+x)}$ wirkt, welche dem Rückschlage zugehört, so ist die wahre Widerstandsfläche des eingezogenen Flügels

$$= 0.4 qf' \frac{x}{n(1+x)}.$$

Dieser Widerstand wird also um so kleiner, je kürzer der Rückschlag, oder je kleiner x .

Diese drei reduzierten Flächen bilden den Werth von f^0 , und da bei denselben der Widerstand in der geradlinigen Bewegung erfolgt, so müssen sie mit dem dieser Bewegungsgeschwindigkeit zugehörigen Widerstands-Koeffizienten $= \rho'$ multipliziert werden. Es ist demnach

$$33) \quad \rho' f^0 = \rho' \left[w \sin \omega + 0.4 f' \left(\frac{1 + qx}{n(1+x)} \right) \right].$$

§. 186.

Werden diese Werthe von ρF^0 und $\rho' f^0$ (32 und 33) in der Formel 30) substituirt, so erhält man

$$34) \quad v = \frac{C}{\sin \alpha + \sqrt{\frac{\rho' \left[w \sin \omega + 0.4 f' \left(\frac{1 + qx}{n(1+x)} \right) \right]}{\rho F \sin \alpha + \rho' f \frac{k'^2}{k^2} \sin \beta + \rho' f' \frac{k''^2}{k^2}}}}$$

Die Gröfse unter dem Wurzelzeichen ist für ein Maximum (nach §. 180) $= 2 \sin \alpha$, aus welcher sonach α durch annähernde Werthe zu bestimmen ist.

Aus der Beschaffenheit dieser Formel, in welcher unter dem Wurzelzeichen nur ein einziges Glied als Funktion des Winkels α erscheint, ergibt sich, dafs, bei gleichen übrigen Werthen, v um so gröfser werde, je kleiner $\sin \alpha$. Denn mit der Vergröfserung von α nimmt zwar die Gröfse unter dem Wurzelzeichen ab, allein in geringerem Mafse, als der ganze Nenner durch die Hinzufügung von $\sin \alpha$ zunimmt, so dafs für $\alpha = 90^\circ$ dieser Nenner ein Maximum, folglich v ein Minimum wird. Schreibt man diese Gleichung in der Form

$$v = \frac{C}{\sin \alpha + \sqrt{\frac{A}{\rho F \sin \alpha + B}}} = \frac{C}{u}$$

und setzt $\rho F \sin \alpha + B = N$, so ist

$$\frac{du}{d\alpha} = \cos \alpha \left(1 - \frac{\rho F \sqrt{A}}{2 N^{\frac{3}{2}}} \right) = 0,$$

und es ergibt sich für u als ein Minimum, folglich v als ein Maximum

$$\sin \alpha = \sqrt[3]{\frac{A}{4 \rho F} - \frac{B}{\rho F}}.$$

Substituirt man für A , B und F die durch die Abmessungen verschiedener Vögel gegebenen Werthe, wie solche im fünften Kapitel gegeben werden, so ergibt sich $\sin \alpha$ positiv oder negativ mit einem sehr kleinen Winkel oder an der Grenze von $\alpha = 0$; so dafs für geringe Änderungen im Werthe einer oder mehrerer jener drei Gröfsen, wie sie innerhalb der Fehlergrenze solcher Abmessungen liegen, $\sin \alpha$ in der That $= 0$ wird. Für das Maximum von v muß daher in der Formel 34) $\sin \alpha = 0$ gesetzt werden. Wenn nun aus derselben α und F verschwinden, so drückt sie die Wirkung des (auf die Horizontalebene, wenn in dieser die Längsaxe

des Vogels liegt) senkrechten Niederschlages aus (28), bei welchem die Wirkung der Flügelebene für die Vorwärtsbewegung $= 0$ ist, und diese nur durch die Wirkung der Widerstandsfläche B in Bezug auf A hervorgebracht wird. Aus der obigen Gleichung für $\sin \alpha$ ergibt sich zugleich, daß für das Maximum der Wirkung zwischen A, B und F ein gewisses Verhältniß Statt findet, nach welchem

$$\sqrt[3]{\frac{A}{4\rho F} - \frac{B}{\rho F}} = 0 \text{ ist.}$$

Da nun in der Ökonomie der Bewegungen der Thiere überhaupt, im Besondern jener des Fluges der Vögel die Natur jeden unnöthigen Verlust an Kraft oder Zeit vermeidet, überdem weiter kein Grund vorliegt, daß der schiefe Flügelschlag bei dem Vogel für einen anderen Zweck nöthig seyn sollte, so ergibt sich hieraus, daß beim Fluge des Vogels der Niederschlag senkrecht geschehe, folglich die Vorwärtsbewegung nur durch die Wirkung der Schranke und der Ruderfedern bewirkt werde. Bei dieser Bewegungsart findet ebenfalls kein Kraftverlust Statt (§. 178), und für die Hebung wird noch der Vortheil gewonnen, daß die ganze Flügelfläche $= F$ in Wirkung kommt. Diese Richtung des Niederschlages stimmt auch mit der Lage der Flügelknochen (§. 32), so wie mit der Bedingung überein, daß die Projektionsebene der Schranke zur Flügelebene senkrecht steht, für welchen Fall dann eben durch diese Richtung die größte Wirkung hervorgebracht wird. Auch hat dieser senkrechte Niederschlag den Vortheil, daß der Widerstand vorwärts nicht vergrößert wird, wie es bei dem schiefen Niederschlage der Fall seyn würde. Man bemerkt auch in der That, wenn man den Flügelschlag größerer Vögel genau beobachtet, daß dieser Niederschlag senkrecht sey. Das scheinbare Zurückschlagen des Flügels, das man von einem gewissen Standpunkte aus bemerkt, ist eine optische Täuschung, weil am

Ende des Niederschlages und dem Anfange des Rückschlages die Schwinge eingezogen, folglich nach rückwärts bewegt wird, welche Bewegung noch dem Niederschlage zuzugehören scheint.

Setzt man daher in der Formel 34) $\sin \alpha = 0$, so erhält man als allgemeine Formel zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung im Fluge des Vogels

$$35) v = C \sqrt{\frac{\rho' f \frac{k'^2}{k^2} \sin \beta + \rho' f' \frac{k''^2}{k^2}}{\rho' \left[w \sin \omega + 0.4 f' \left(\frac{1 + q x}{n (1 + x)} \right) \right]}}$$

In dieser Formel bezeichnet der Zähler des Bruches unter dem Wurzelzeichen die vorwärtstreibende, und der Nenner die der Vorwärtsbewegung widerstehende Fläche, so daß also v um so größer wird, je größer die erstere gegen die letztere. Da die Funktion $\sin \beta$ sich nach 27) auf den schiefen Niederschlag bezieht, so müßte für den senkrechten Niederschlag nach 26) dafür $\cos^2 \beta \sin \beta$ gesetzt werden; der Unterschied fällt jedoch nur in die Dezimale von v , so daß bei der Bestimmungsart von β , wie sie weiterhin gegeben wird, $\sin \beta$ als einen konstanten Werth bezeichnend gelten kann (§. 195). Die einzelnen Werthe unter dem Wurzelzeichen sind nämlich im Allgemeinen noch einer näheren Bestimmung fähig, um dann auf die gegebenen Dimensionen eines Vogels leicht angewendet werden zu können. Der Werth von k hängt von der Form des Flügels und seiner Länge ab; k'' von der Form der Schrankenfläche f' ; k und β bestimmen die Wirkung der Ruderfedern, und $w \sin \omega$ läßt rücksichtlich des Winkels ω gleichfalls eine nähere Bestimmung zu. Wir müssen daher diese verschiedenen Verhältnisse, die zur näheren Erläuterung des Flugmechanismus beitragen, im Folgenden noch näher betrachten.

Viertes Kapitel.

Von der Form des Flügels.

§. 187.

Wenn in der Fig. 31 eine Kraft in dem Punkte m auf die Fig. 31.
Drehung der steifen Linie cl wirkt, so wirkt diese Kraft in jedem Punkte verkehrt wie die Entfernung dieses Punktes von der Drehungsaxe. Für die vortheilhafteste Wirkung dieser Kraft in m muß diese Bedingung auch Statt finden, wenn in Bezug auf den Luftwiderstand, der durch die Winkelbewegung erzeugt wird, cl den Längendurchschnitt einer Fläche bezeichnet, die in verschiedenen Punkten verschiedene Querschnitte hat; oder es muß sich, wenn $\mathcal{K}$ die Kraft in m und $\mathfrak{k}$ jene in l bezeichnet, verhalten

$$\mathcal{K} : \mathfrak{k} = cl : cm,$$

so daß $\mathcal{K} cm = \mathfrak{k} cl$, oder die Wirkung in l jener in m gleich ist. Bezeichnet nun f den Querschnitt der Fläche in m , f' jenen in l , und lcn einen kleinen Winkel, so werden die Kräfte in m und l durch ihre Wirkung in der Bewegung der zugehörigen Punkte, oder durch die Fläche multipliziert mit ihrem Wege, welcher der Entfernung des Punktes von der Drehungsaxe proportional ist, bemessen, oder es muß sich in dieser Beziehung verhalten

$$\mathcal{K} : \mathfrak{k} = fcm : f'cl.$$

Folglich:

$$fcm : f'cl = cl : cm,$$

daher

$$fcm^2 = f'cl^2,$$

oder

$$f : f' = cl^2 : cm^2,$$

d. i. die Querschnitte der widerstehenden Fläche verhalten sich verkehrt, wie die Quadrate ihrer Entfernungen vom Umdrehungspunkte.

Unter dieser Voraussetzung der vortheilhaftesten Wirkung der Kraft sind daher die Widerstände, welche durch $fc m^2$, $f' c l^2$, d. i. durch die Fläche multipliziert mit dem Quadrate der Geschwindigkeit, ausgedrückt werden, in verschiedenen Entfernungen von der Drehungsaxe gleich, oder was dasselbe ist, der Widerstandspunkt der ganzen Fläche muß in die Mitte von cl fallen.

Diese Form der Fläche gehört also der oben (§. 151) bezeichneten Parabel des gleichen Widerstandes, deren Parameter $= \frac{l^2}{b}$ ist, deren Scheitel im Schulterpunkte des Flügels, und deren Widerstandspunkt in der Entfernung $= \frac{l}{2}$ von der Drehungsaxe liegt.

§. 188.

Diese Form des gleichen Widerstandes, welche der sich um eine Axe drehenden Fläche zugehört, die für die Hebung, nämlich im senkrechten Niederschlage wirkt, ist in der That in der Form des Vogelflügels ausgedrückt, und die Abweichungen, die der Flügel von derselben zeigt, gehören der Einrichtung desselben für die Vorwärtsbewegung an. Bei vollständigen Schnellflüglern erscheint diese Form deutlich ausgesprochen. An der Schulter ist wegen der Stellung des Windfanges der Flügel zwar etwas eingezogen, dagegen an dieser Stelle der Fächer um so viel breiter. Bei einigen Schnellflüglern, wie der Saatgans, schließt sich der Fächer des Flügels mit einer bedeutenderen Breite an den Deckfittich an. Dieser Theil dient weniger zur Vergrößerung der Flügelfläche, als vielmehr zur Vergrößerung der Unterfläche des Leibes, als Ersatz des kurzen Schwanzes, beiläufig die Stelle der Unterflügel der vierflügeligen Insekten vertretend. Der Flügel des Vogels bildet, wie im ersten Theile gezeigt worden, eine mässig gewölbte Fläche, indem die Schwungfedern sowohl als die Fächerfedern gekrümmt sind, und zwar um so mehr, je weiter sie von der Dre-

hungsaxe entfernt liegen. Beim Niederschlage nehmen diese Federn durch den Luftdruck eine gerade Lage an, so daß dann der Flügel, abgesehen von der Form der Schranke, eine Ebene bildet.

Bei allen größeren Vögeln bildet daher diese Flügelform eine halbe Parabel, deren der Flügelbreite als Abszisse zugehörige Ordinate in der hinteren Flügelkante liegt. Bei vielen kleineren mit Schnellflügeln versehenen Vögeln, wie den Finkenarten, besteht der Flügel aus zwei solcher halben parabolischen Flächen, die mit der größten Ordinate an einander stoßen, so daß die hintere Flügelkante eben so gekrümmt ist, wie die vordere, wie in der Fig. 21, welche den Umriss eines solchen Flügels vom Haussperling vorstellt. Zieht man aus dem Mittel der Linie, welche die größte Breite bezeichnet und normal auf dieselbe eine gerade Linie, so theilt diese die Flügelfläche nahe in zwei symmetrische Hälften. Diese Form bezweckt eine größere Breite des Flügels bei verhältnißmäßig geringerer Länge, folglich ungeachtet dieser Verkürzung, welche eine größere Zahl der Flügelschläge $= n$ bedingt, einen größeren Werth von F , und in Folge dessen nach 20) eine größere Hebung, so wie die nöthige Balanzirung des Körpers (§. 211). Man kann diese Form als Doppelflügel bezeichnen.

§. 189.

Bei dieser Parabel des gleichen Widerstandes ist, wenn wie bisher die Länge des Flügels durch l und die größte Breite durch b bezeichnet wird, und an irgend einer Stelle der Querschnitt oder die Flügelbreite $= x'$ der Entfernung von der Drehungsaxe $= y$ zugehört, da

$$x = b \frac{y^2}{l^2} \quad \text{und} \quad x' = b - x,$$

$$x = b \left(1 - \frac{y^2}{l^2} \right),$$

so daß für

$$y = \frac{1}{4} l, \quad \frac{1}{2} l, \quad \frac{3}{4} l,$$

$$x' = \frac{15}{16} b, \quad \frac{3}{4} b, \quad \frac{5}{9} b$$

wird. Untersucht man nach diesen Verhältnissen die Dimensionen der Schnellflügel, die am wenigsten in Ruderfedern ausgehen, so findet man die Masse sehr nahe übereinstimmend. Der Flügel des Vogels läuft natürlich nicht in einem Punkte, wie die Parabel, aus sondern ist etwas abgerundet, man muß daher bei diesen Vergleichen die Länge l um so viel über die wirkliche Flügelspitze hinausrücken, daß die Parabel vervollständigt wird.

§. 190.

Auch bei den Ruderflügeln zeigt sich eben diese Form des gleichen Widerstandes, obgleich ihre geometrische Figur wegen der Ausspreizung der Schwungfedern bei der Streckung des Flügels davon sehr abzuweichen scheint. Reduzirt man jedoch die Fläche der Ruderfedern auf die zur Hebung wirksame Fläche, so ergibt sich gleichfalls die parabolische Form. Man kann hierzu keinen extremeren Vergleichungspunkt wählen, als den Flügel des Kondors und des grauen Geiers, deren Schwinge beinahe ganz in lang ausgeschnittenen Ruderfedern ausläuft. Beim grauen Geier (§. 104) beträgt die Gesamtlänge der Ausschnitte der Ruderfedern 77" bei einer mittleren Breite von $1\frac{1}{4}$ ", folglich die Fläche $= 96\frac{1}{4}$ Q. Z. Unter dem Winkel von $\beta = 20^\circ$ niederschlagend wirkt diese Fläche $= f$ zur senkrechten Hebung mit einer Fläche $= f \cos^3 \beta$ (26) $= 79.85$ Q. Z.

Diese Ausschnitte der Ruderfedern sind nun in der Länge von 14" am Ende des 50" langen und 18" breiten Flügels wirksam, folglich ist der Querschnitt des Flügels an dieser Stelle nach der parabolischen Form

$$= 18 \left(1 - \frac{36^2}{50^2} \right) = 8'' 669.$$

Würde nun von diesem Querschnitte an, statt der Ruderfedern, das Flügelende eine parabolische Fläche bilden, so wäre deren Inhalt $= \frac{2}{3} \times 14 \times 8.669 = 80.908$ Q. Z.

Die Ruderfedern dieses Flügels wirken also für die Hebung eben so, nämlich mit derselben Fläche, oder bei derselben Geschwindigkeit mit demselben Effekte, wie eine einzige Fläche von parabolischer Form. Es ist dasselbe, als wenn die Ruderfedern so über einander geschoben werden, daß sie sich wie bei Schnellflügeln decken, und sonach die parabolische Fläche bilden, was in der That bei verschiedenen Flugbewegungen, bei denen der Vogel keine große Geschwindigkeit erstrebt, der Fall ist.

§. 191.

Wenn man daher von dem wirklichen Ausmaß eines gestreckten Ruderflügels den Flächeninhalt der breiten Fahnenabschnitte seiner Ruderfedern abzieht, so ergibt sich für diesen Flügel, gleich den Schnellflügeln der parabolische Flächeninhalt, wie er sich aus der Länge und Breite des Flügels mit $\frac{2}{3} b l$ berechnet.

Die nachfolgende Tafel enthält die Dimensionen verschieden gestalteter Vogelflügel nach der wirklichen Ausmessung mit ausgebreiteten Ruderfedern, wie in der vollen Flügelstreckung, in der zweiten Kolumne; in der dritten Kolumne die Fläche der Ruderfedern, in der vierten die Berechnung ihrer Fläche nach der parabolischen Form.

N a m e n.	Messung Q Z.	Fläche der Ruderfeder.	Rechnung.
Schneear (F.lagopus)	178	18	160
Mäuse-Boussard . .	116.5	10	107
Saatkrähe	96	9	87 $\frac{1}{2}$
Dohle	49.5	5	45
Nachtkauz	82	7	75
Saatgans	204	—	196
Thurmfalk	35	—	33 $\frac{1}{3}$
Steinadler	375	44	326
Seeadler	520	62	453

Man erhält demnach die für die senkrechte Hebung wirkende Flügelfläche, wenn man die größte Breite des Flügels mit seiner Länge multipliziert und von dem Produkte $\frac{2}{3}$ nimmt. Dieser Flächeninhalt in Q. F. doppelt oder für beide Flügel genommen, gibt den Werth von F in den Formeln 20) — 24).

Nähere Bestimmung von f' , $f \sin \beta$, ω und q .

§. 192.

Die Schranke, welche die vordere Flügelkante bildet (§. 182) und deren Fläche mit f' bezeichnet ist, ist am Leibe des Vogels am breitesten, und nimmt gegen die Spitze des Flügels immer mehr ab, und zwar beiläufig im Verhältnisse seiner Breite. Auf diese Schranke wirkt der Luftwiderstand vermöge des Seitendruckes auf dieselbe Art, wie auf die Flügelebene selbst, weil jeder Querschnitt der Schranke denselben Luftdruck erhält, als der zugehörige Querschnitt der Flügelfläche. Für die vortheilhafteste Wirkung muß also der Ebene ihrer Projektion dieselbe Form des gleichen Widerstandes zukommen, wie der Flügelebene selbst. Wenn daher die größte Höhe des Windfanges oder dieser Schranke $= a$ ist, und die Länge derselben $= \lambda$, so ist die Ebene ihrer Projektion $= \frac{2}{3} a \lambda$. Untersucht man in Beziehung auf a Flügel verschiedener Art, in ihrer vollen Streckung, so findet sich, daß die größte Höhe des Windfanges wenigstens ein Viertheil der größten Flügelbreite beträgt, so daß man dieses Verhältniß als einen Mittelwerth annehmen kann. Demnach ist $a = \frac{1}{4} b$, folglich die Projektionsebene $= \frac{1}{6} b \lambda$, oder für beide Flügel

$$= \frac{2}{3} b \lambda = f'.$$

Diese Bestimmung setzt übrigens den Flügel in der Form der halben Parabel voraus; bei dem Doppelflügel, der aus zwei solchen Hälften besteht (§. 188), gilt die Breite $= b$ nur für die eine oder vordere Hälfte, da die Schrankenhöhe nur jenem Theile der

ganzen Flügelbreite proportional ist; die zweite Hälfte dagegen als eine bloße Verbreiterung, analog den Unterflügeln der Insekten erscheint.

Der Widerstandspunkt der Schranke liegt also ebenfalls in der Hälfte ihrer Länge, oder es ist

$$k_{,,} = \frac{1}{2} \lambda.$$

Die Länge der Schranke $= \lambda$ wird durch die Länge der Lenkfeder bestimmt, da diese ihr äußeres Ende bildet, und muß daher durch das Ausmaß am gestreckten Flügel genommen werden. Wegen der größeren Länge dieser Lenkfeder hat daher die Schranke bei den Schnellflügeln eine verhältnißmäßig größere Länge als bei den Ruderflügeln, und hierin liegt ein wesentlicher Unterschied dieser beiden Flügelarten. Die längere Schranke gewährt für diesen Flügeltheil eine verhältnißmäßig größere vorwärts treibende Kraft, und durch energische Flügelschläge kann diese Kraft beliebig verstärkt werden, daher der Schnellflügler auch leichter gegen einen steifen Wind zieht als der Ruderflügler (§. 105).

§. 193.

Die durch die Einziehung des Flügels während des Rückschlages verminderte Schrankenfläche ist oben (§. 185) mit qf' bezeichnet worden. Der Werth von q ist ohne Zweifel veränderlich, je nach der Verschiedenheit der Flugbewegungen, indem diese Einziehung des Flügels vollständiger geschehen muß, wenn der Vogel bei kleinerem α oder kürzerem Rückschlage auf die Steigung wirkt, während er bei größerem α , besonders bei den Schnellflüglern, größer, oder die Einziehung weniger vollständig seyn kann, weil bei der größeren Zeit des Rückschlages die Hebung des eingezogenen Flügels langsamer, also mit geringerem Widerstande erfolgen kann (§. 176). Um jedoch für diesen Werth von q einen Mittelwerth zu bestimmen, der eher zu groß als zu klein ist, kann man die Länge der gewölbten Fläche, welche nach

der Einziehung der Schwinge durch die Näherung des Ober- und Vorderarms gebildet wird (§. 185), höchstens auf $\frac{1}{3}$ der Schrankenlänge setzen, und das Produkt dieser Länge mit der größten Schrankenbreite als die widerstehende Fläche des Flügels während des Rückschlages annehmen. Hiernach ist diese Fläche für einen Flügel

$$= \frac{1}{3} \lambda \times \frac{1}{4} b = \frac{1}{12} b \lambda,$$

oder für beide Flügel

$$= \frac{1}{6} b \lambda = q f'.$$

Da nun $f' = \frac{1}{3} b \lambda$, so ist

$$q = \frac{1}{2}.$$

§. 194.

In dem Werthe $= w \sin \omega$, welcher die Widerstandsfläche des vorderen Theiles des Vogelkörpers bestimmt (§. 185), ist der Einfallswinkel ω durch die Länge dieses kegelförmigen Vordertheiles gegeben. Ist diese Länge $= l'$, der Halbmesser der Grundfläche des Kegels oder des größten Querschnittes des Körpers $= b'$, so ist $\frac{b'}{l'} = \tan \omega$. Hiernach läßt sich für jede Vogelart nach den Abmessungen der Werth von $w \sin \omega$ bestimmen. Bei den meisten Vögeln, den guten Fliegern zumal, ist $2 b' = \frac{l'}{2}$ (§. 120), folglich $\tan \omega = \frac{1}{4}$, und $\sin \omega = 0.2424$, so daß man als einen Mittelwerth die der Bewegung vorwärts widerstehende Körperfläche (auf eine senkrechte reduzirt) $= 0.2424 w$ setzen kann.

Da der Werth von w einen bedeutenden Einfluß auf die Bestimmung von v hat, so muß derselbe so genau wie möglich genommen werden. Man erreicht diesen Zweck mit genügender Annäherung, wenn man um die Brust des Vogels hinter dem Flügelgelenke eine Schnur straff anlegt, und aus ihrer Länge als Peripherie eines Kreises den Durchmesser bestimmt.

Die langhalsigen Vögel und andere mit grossem Kopfe, wie die Eulen, passen natürlich nicht zu der vorigen Mittelbestimmung, sondern die Widerstandsfläche muß nach den eigenen Dimensionen bemessen werden.

§. 195.

Der Winkel β , unter dem die Ruderfedern im Niederschlage des gestreckten Flügels gestellt sind, ist nicht bei allen gleich. Ausser der Lenkfeder können die beiden ersten grossen Schwungfedern durch die volle Wirkung des Vorwärtswenders des grossen Fingers bis zu einem Winkel von 60° gestellt werden; die Winkel der folgenden nehmen in ihrer Stellung ab, da sie an der Bewegung der ersten nur mittelst der Sehnenhaut Theil nehmen, so daß die letzteren mit ihren immer kürzer werdenden Ausschnitten sich an die Ebene der Fächerfedern anschliessen. Überhaupt müssen diese Winkel nach der Anstrengung, die der Vogel macht, sehr veränderlich seyn. Den grössten Winkel der ersten Schwungfedern wird der Vogel benützen, um für einzelne Fälle die grösste Geschwindigkeit zu gewinnen; desgleichen muß die Umbiegung des breiten Bartes des Ausschnittes, folglich ihr Winkel, mit der Schnelligkeit des Niederschlages zunehmen; auch muß für die vortheilhafteste Wirkung rücksichtlich des Kraftaufwandes dieser Winkel von der Geschwindigkeit vorwärts selbst abhängen. Die genaue Bestimmung dieser einzelnen Widerstände würde zu sehr weitläufigen Rechnungen führen. Um daher einen für die Berechnung annäherungsweise brauchbaren Mittelwerth zu erhalten, kann man aus §. 180 die Gleichung $v = \frac{C}{3 \sin \alpha}$ anwenden, wenn man statt α β , und für C die Geschwindigkeit im Widerstandspunkte der Ruderfeder $= C'$, setzt. Hiernach ist $\sin \beta = \frac{C'}{3v}$. Nun kann man für eine mittlere Flugbewegung $C' = v$ nehmen; so nach wird $\sin \beta = \frac{1}{3} = \sin 19^\circ 28'$, wofür man 20° als eine

Mittelzahl setzen kann. Auch haben wir bereits oben (§. 190) gesehen, daß dieser Mittelwerth mit der Projektion der schiefen Fläche der Ruderfedern auf die Flügelfläche ziemlich gut übereinstimmt. Indem also hier für die schiefe Stellung der Ruderfedern ein durchschnittlicher Näherungswerth mit $\sin \beta = \sin 20^\circ$ genommen wird, ist derselbe nur als ein jene Neigung bestimmender konstanter Koeffizient zu betrachten (§. 186), der als ein Mittelwerth ohne Zweifel mehr dem Minimum als dem Maximum näher liegt.

Im Allgemeinen muß man annehmen, daß der Vogel im Niederschlage instinktmäßig die schiefe Stellung der Ruderfedern so regulirt, daß sie der Gewalt des Niederschlages angemessen ist, ohne daß eine Umknickung der breiten Fahne des Ausschnittes erfolgt, wobei also nothwendig die Neigungswinkel sehr veränderlich seyn müssen (größer bei dem stärkeren, kleiner bei dem schwächeren Niederschlage). Nur bei außerordentlichen Anstrengungen, z. B. wenn ein großer Vogel, nachdem er angeschossen, noch die letzten Anstrengungen macht, um zu entinnen, findet man zuweilen den breiten Bart des Ausschnittes der ersten großen Schwungfedern umgeknickt oder umgedreht, in Folge des übermäßig heftigen Niederschlages.

§. 196.

Bei den Schnellflügeln fehlt die Wirkung der Ruderfedern als solcher; sie wird jedoch durch die größere Ausdehnung der Schranke vermöge der verlängerten Lenkfeder in Verbindung mit der Wölbung der Schwinge nach vorn ersetzt, indem mittelst des Streckers und Vorwärtswenders des großen Fingers, durch deren Wirkung die Ruderfedern ausgebreitet und pronirt werden, bei den Schnellflügeln die Wölbung der Schwinge durch die Pronirung der ersten über einander liegenden Schwungfedern bewirkt wird, so daß hier die Länge der Schranke der ganzen Flügel-

länge gleich wird. Während daher der Ruderflügel an eine gewisse Grenze der Heftigkeit des Niederschlages (bei größerem Werthe von x) gebunden ist, weil sonst die Ausschnitte der Ruderfedern über die Grenze ihrer nützlichen Wirkung umbogen oder selbst umgeknickt werden, verträgt der Schnellflügel gegen seine Schranke, verbunden mit der Steifigkeit seiner Federn überhaupt, das Maximum des Luftstosses, das durch die Muskelkraft des Vogels erreicht werden kann.

§. 197.

Die vorhergehenden Bestimmungen gelten für die Streckung des Flügels unter den für die Vorwärtsbewegung günstigsten Umständen, nämlich der gänzlichen Entfaltung der Schranke und der Ruderfeder oder der Schwinge. Unter diesen Umständen wird die Geschwindigkeit $= v$ in der Formel 35) am größten, dabei aber auch die Hebung, wenn die Wirkung größer ist als die Normalwirkung, bei dem gleichen Werthe von x am größten. Diese Hebung ist nach §. 170 in einer Sekunde $= nh^0 = s$, folglich wenn der Steigungswinkel unter dem Flügelschlage, welcher der Geschwindigkeit $= v$ zugehört, mit i bezeichnet wird,

$$\text{tang } i = \frac{s}{v}.$$

Bei der vollen Flugbewegung ist dieser Winkel nur klein, weil v gegen s groß ist. Wenn daher der Vogel eine steilere Steigung, mit größerer Anstrengung für kleinere Zeiträume, beabsichtigt, so hat er es in der Gewalt, die vorwärts wirkenden Organe des Flügels mehr oder weniger außer Wirkung zu setzen, und dadurch bei gleicher Hebungskraft seine Geschwindigkeit mehr und weniger zu vermindern oder auch ganz aufzuheben (§. 133). In diesem Falle geschieht der Niederschlag des Flügels

a) mit der Einziehung des Lenkfittichs und der Lenkfeder, wodurch die Schrankenfläche oder der Werth $f' \frac{k''^2}{k^2}$ vermindert

wird, während die Ruderfedern oder die ersten Schwungfedern durch die anhaltende Wirkung des Vorwärtswenders des grossen Fingers noch ihre Wirkung behalten. Hierdurch wird die Schranke auf den Windfang, nämlich die halbe Flügellänge (§. 113) reduziert. Da nun die Fläche des Windfanges nahe ein Dreieck bildet, dessen Höhe $= \frac{1}{4} b$ (§. 192), so ist dessen Fläche $= \frac{1}{16} b l$. Da die Höhe dieses Dreieckes an der Drehungsaxe liegt, so ist die Entfernung dessen Widerstandspunktes von dieser Axe nach 6)

$$= \frac{l}{2} \sqrt{\frac{1}{16}} = k_{III},$$

daher diese beiderseitige Fläche auf den Widerstandspunkt des Flügels reduziert

$$= \rho \frac{1}{16} b l \frac{k_{III}^2}{k^2},$$

und (wegen $k = \frac{1}{2} l$, $k_{III} = 0.2320 l$)

$$36) = 0.0269 \rho b l,$$

welcher Werth dann in der Formel 35) für $\rho f' \frac{k_{III}^2}{k^2}$ zu setzen ist.

β) Zugleich mit der vorigen Disposition durch die Überschiebung der Ruderfedern mittelst der Wirkung des Streckers und des Beugers des grossen Fingers (§. 95), oder bei den Schnellflügeln der Aufhebung der Wölbung der Schwinge mittelst derselben Muskelwirkung, wodurch der Werth $f' \frac{k_{III}^2}{k^2} \sin \beta$ bis zu $= 0$ vermindert wird.

In diesen beiden Fällen (α und β) bleibt die hebende Wirkung des Flügels dieselbe, weil die parabolische in dieser Richtung wirkende Form des Flügels dabei nicht geändert wird.

γ) Durch eine geringe Aufwärtsdrehung der Flügelfläche im Niederschlage (welche durch die Einlenkungsart des Oberarms gestattet ist, §. 21), indem die vordere Kante des Flügels etwas nach aufwärts und die hintere nach abwärts gerichtet wird, wo-

durch gegen die Vorwärtsbewegung ein negativer, d. i. ein dieser Bewegung entgegengesetzter Widerstand erzeugt wird, der die noch vorhandene Wirkung der Schranke mehr und weniger aufhebt. Ist nämlich dieser Winkel, unter dem die Flügelebene gegen die Richtungslinie geneigt wird, $= \alpha'$, demnach dieser negative Widerstand des Niederschlages $= \frac{\rho n}{2g} F C^2 \sin \alpha'$, so hört die Bewegung vorwärts auf, wenn derselbe der Wirkung der Schranke $= \frac{n}{2g} 0.0269 \rho b l C^2$ gleich ist, vorausgesetzt, daß dabei die Ruderfedern gleichzeitig außer Wirkung gesetzt sind, oder es ist dann überhaupt die der vorwärtstreibenden Kraft entsprechende Fläche

$$37) = 0.0269 \rho b l - \rho F \sin \alpha'.$$

Fünftes Kapitel.

Spezielle Nachweisungen.

Zur Anwendung und Erläuterung der vorhergehenden Bestimmungen können wir nunmehr für Hebung und Geschwindigkeit die Flugverhältnisse einiger Vögel berechnen, die man gewissermaßen als Repräsentanten verschiedener Flugorganismen ansehen kann. Wir wählen hierzu die Saatkrähe, den Steinadler, als Ruderflügler, die Taube und den Sperling, als Schnellflügler, nämlich Vögel, die mit Ausnahme des Adlers ganz gemein sind, deren Flugbewegungen daher leicht beobachtet werden können.

Die Saatkrähe.

§. 198.

Die Bestimmungsstücke für die Normalwirkung oder die Formel 23)

$$gP = \left(\frac{4\rho v}{g} \right) F k^3 n^4 \frac{(1+x)^4}{x^3} \approx (\varphi + \psi),$$

sind bereits oben §. 174 angegeben worden, wo die Werthe von P , F und k aus der Tafel §. 118 genommen sind. Für $x = \frac{1}{3}$, $m = 90^\circ$, wird sonach $n = 2.464$. Bei diesen Werthen von x , m und n findet daher keine Hebung Statt, sondern der Vogel zieht unter diesem Flügelschlage in der erlangten Höhe horizontal vorwärts.

Die erlangte Geschwindigkeit des Flügels im Widerstandspunkte, nach §. 167, nämlich

$$C = 2k(\varphi + \psi)n(1+x),$$

ist in diesem Falle $= 7' 521$.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit aus der Formel 35), beträgt die Fläche der Ruderfedern beider Flügel $= 18$ Q. Z. $= \frac{1.8}{.44}$ Q. F. $= f$, ihr Widerstandspunkt $= 15'' = \frac{1.5}{1.2} = k$. Die Länge der Schranke, bis ans Ende der Lenkfeder gemessen, ist $= \frac{1.3}{1.2} = \lambda$; die Flügelbreite $= \frac{7.5}{12} = b$, folglich (§. 192) $f' = 32.5$ Q. Z. $= \frac{32.5}{144}$ Q. F. Die größte Querschnittsfläche des Rumpfes ist $= 12$ Q. Z. $= \frac{1}{1.2}$ Q. F. $= w$, $\rho' = 1.28$, $\rho = 3.86$; also

$$\rho' w \sin \omega = 0.02585 \text{ (§. 194),}$$

$$0.4 \rho' f' \left(\frac{1+qx}{n(1+x)} \right) = 0.04040,$$

$$\rho' f' \frac{k'^2}{k^2} \sin \beta = 0.1608,$$

$$\rho f' \frac{k''^2}{k^2} = 0.4807.$$

Demnach $v = 23' 40$.

Diese Geschwindigkeit ist die kleinste, bei welcher der Vogel bei regelmäfsig auf einander folgenden Flügelschlägen und bei voller Flügelstreckung vorwärts zieht, ohne dafs dabei eine Hebung Statt findet.

Um zu übersehen, wie sich diese Wirkung zu jener unter dem schiefen Flügelschlage nach 34) verhält, so ergibt sich, wenn man in $F \sin \alpha$, $\alpha = 8^\circ$ nimmt, aus der Formel $\alpha = 7^\circ 30'$, daher 8° zu groß; für $7^\circ 30'$ wird $\alpha = 7^\circ 37'$, daher $7^\circ 30'$ zu klein; für $7^\circ 36'$ wird α sehr nahe $= 7^\circ 36'$. Sonach

$$v = \frac{7'521}{3 \sin 7^\circ 36'} = 18' 95.$$

2) Für $n = 3$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{3}$, wird

$$C = 9' 1595$$

$$\text{und } v = 30' 06.$$

3) Für $n = 3$, $m = 100^\circ$, $x = \frac{1}{3}$, wird

$$C = 10' 176$$

$$\text{und } v = 33' 39.$$

Die Geschwindigkeit 2) und 3), bei welcher der Vogel 3 Flügelschläge in einer Sekunde macht (§. 174), ist daher als dessen mittlere anzusehen.

4) Für $n = 3\frac{1}{2}$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{3}$, wird

$$C = 10' 685$$

$$\text{und } v = 36' 57.$$

5) Für $n = 3\frac{1}{2}$, $m = 100^\circ$, $x = \frac{2}{3}$, wird

$$C = 11' 87$$

$$\text{und } v = 40' 63.$$

6) Für $n = 4$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{3}$, wird

$$C = 12' 21$$

$$\text{und } v = 43' 24.$$

Da 4 die größte Zahl der Flügelschläge ist, die man beobachtet, so wäre diese Geschwindigkeit des Flügelschlages C auch die größte ¹⁾.

¹⁾ Um die Steifigkeit eines Flügels für eine Geschwindigkeit, die sich der größten nähert, zu beurtheilen, wurden mit verschiedenen gehörig ausgebreiteten und völlig eingetrockneten Flügeln Ver-

7) Setzt man für $n = 3$ und $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{2}$, so wird
 $C = 10' 30$
 und $v = 38' 40$.

Da für diesen Werth von x , C den Werth in 4) noch nicht erreicht, so kann der Flügelschlag auch mit diesem Werthe von x geschehen, bei welchem dann für dasselbe n der Vogel eine grössere Geschwindigkeit bei einer geringeren Hebung erreicht. Würde für dieselben Werthe von n und m , $x = 1$, so wäre $C = 13' 74$, folglich grösser als bei dem Maximum in 6), so dafs man annehmen kann, dafs bei diesem Vogel rücksichtlich der relativen Steifigkeit seiner Flügel diese Schnelligkeit des Niederschlages nicht mehr Statt finden kann. Setzt man nach 6) $C = 12' 21$ für $n = 4$ und $x = 1$, so wird aus 19) $m = 60^\circ$ und demnach $v = 44' 85$, als die grösste Geschwindigkeit, die der Vogel möglicher Weise erreichen kann.

§. 199.

Die effektive Hebung, welche bei diesen verschiedenen Flügelschlägen erfolgt, ergibt sich für h aus 20), h , aus 22), und für $h_0 = h - h$, aus der Formel 24).

Hiernach ist für 2) des vorigen Paragraphes

$$\left. \begin{array}{l} h = 0' 2368 \\ h' = 0' 1077 \end{array} \right\} h_0 = 0' 1291.$$

Für 3)

$$\left. \begin{array}{l} h = 0' 3155 \\ h' = 0' 1077 \end{array} \right\} h_0 = 0' 2078.$$

suche angestellt. So ergab sich, dafs, wenn der Flügel der Krähe mit einer Geschwindigkeit von $10' - 12'$ niedergeschlagen ward, sich derselbe so ausbreitet und die Ruderfedern sich bis zu demselben Grade biegen, wie man es im angestregten Fluge dieses Vogels sieht. Bei stärkerem Niederschlage geschieht die Aufbiegung so stark, dafs dabei ein Kraftverlust Statt finden müfste.

Für dasselbe n und x wächst also die Hebung bedeutend mit der Vergrößerung des Schlagwinkels. Im letzteren Falle beträgt die Hebung in einer Minute $= 3 \times 0.2078 \times 60 = 37'40$.

Für 4)

$$\left. \begin{array}{l} h = 0' 3223 \\ h_1 = 0' 0791 \end{array} \right\} h_0 = 0' 2432.$$

Hebung in einer M. $= 51' 07$.

Für 5)

$$\left. \begin{array}{l} h = 0' 4294 \\ h_1 = 0' 0791 \end{array} \right\} h_0 = 0' 3503.$$

Hebung in einer M. $= 73' 56$.

Für 6)

$$\left. \begin{array}{l} h = 0' 4209 \\ h_1 = 0' 0202 \end{array} \right\} h_0 = 0' 4007.$$

Hebung in einer M. $= 96' 17$.

Betrachtet man den Fall 6) für $x = \frac{1}{2}$, so wird

$$\left. \begin{array}{l} h = 0' 2997 \\ h_1 = 0' 1914 \end{array} \right\} h_0 = 0' 1083,$$

folglich h_0 nicht nur kleiner als in 2), sondern auch h_1 gegen h bedeutend größer. Für $x = 1$ würde

$$\left. \begin{array}{l} h = 0' 5327 \\ h_1 = 0' 4307 \end{array} \right\} h_0 = 0' 1020;$$

daher hier der Nutzeffekt der Hebung $= h_0$ noch nicht $\frac{1}{5}$ des Totaleffektes $= h$. Bei einer gewissen Vergrößerung von x gegen n und m kann sich der Flügelschlag jederzeit so reguliren, daß keine effektive Hebung Statt findet, oder $h = h_1$ wird.

§. 200.

In den vorigen Fällen bewirkt der Vogel seine Steigung, indem er dabei bei voller Flügelstreckung möglichst weit vorwärts kommt. Wird letzteres nicht bezweckt, sondern eine stärkere Hebung in kürzerer Distanz, so wendet er die in §. 197 angegebenen

Mittel an, und zwar nach α) zuerst die Einziehung des Lenkfit-tichs und der Lenkfeder, wodurch sich die wirkende Fläche der Schranke auf $= 0.0269 \rho b l$ vermindert. Nimmt man den Fall für $n = 4$, welchen man für die größte Anstrengung dieses Vogels zur Hebung annehmen kann, und setzt in der Formel 35) den obigen Werth statt $\rho f \frac{k''^2}{k^2}$, so erhält man $v = 27' 27$ statt der obigen $43' 24$, so daß für dieselbe Steigung, deren Gröfse un-gemindert bleibt, der Weg in demselben Verhältnisse verkürzt ist. Geschieht nun noch nach β) der Aufflug mit Einziehung der Ru-derfedern, so verschwindet in der Formel 35) der Werth

$$\rho' f \frac{k'^2}{k^2} \sin \beta,$$

und es bleibt für den Zähler des Bruches unter dem Wurzelzeichen nur die Gröfse $= 0.0269 \rho b l$. Hiernach wird $v = 16' 61$; folglich die Steigung von $96'$ aus der Entfernung von $996'$ erreicht.

Wenn endlich nach γ) der Vogel die Flügelebene unter dem Winkel α' nach vorwärts wendet, so wird in der Formel 35) der Zähler des Bruches $= 0.0269 \rho b l - \rho F \sin \alpha'$, folglich $v = 0$, wenn beide Glieder gleich sind. Da nach den vorigen Dimensio-nen $0.0269 \rho b l = 0.09468$, so wird in diesem Falle

$$\sin \alpha' = \frac{0.09468}{\rho F} = \sin 1^\circ 10'.$$

Es ist also nur ein sehr kleiner Winkel des negativen schiefen Nie-derschlages erforderlich, um die im Windfange des Flügels vor-handene letzte Bewegungskraft vorwärts noch weiter zu vermin-dern oder ganz aufzuheben. Durch dieses Mittel hat es der Vogel in der Gewalt, seinen Steigungswinkel bei entsprechenden Flügel-schlägen beliebig zu vergrößern. Er bedient sich überdem dieses Mittels, wenn er sich einem Objekte nähert, auf dem er sich nie-derlassen, folglich mit der möglich geringsten Geschwindigkeit

ankommen will; oder wenn er sich in der Höhe halten will, ohne merklich seinen Ort zu verändern, welches letztere indessen bei dem Schnellflügler mehr der Fall ist, als bei dem Ruderflügler, der in diesem Falle lieber seine Kreisbewegung macht, die seinen Flügeln die gewohnte und natürliche Entwicklung läßt.

§. 201.

In den vorigen Fällen ist die Hebung für das eigene Gewicht des Vogels betrachtet worden. Die Saatkrähe ist zwar kein Raubvogel, dennoch ist sie im Stande, mit einer Last aufzufliegen. Mit dieser Last muß ihre Hebung wenigstens eben so groß seyn, als bei einem mäßigen Flügelschlage, z. B. für $n = 3$, $m = 90$, $x = \frac{1}{3}$ ohne Last. Bezeichnet P' das Gewicht des Vogels sammt der Last, und setzt man in der Formel 20) $P h = A$ oder in 24) den Zähler des ersten Gliedes $= A$, so ist für einen gegebenen Flügelschlag $a)$, durch welchen P' zu heben ist,

$$h_0 + h_1 = \frac{A}{P'},$$

und für einen anderen Flügelschlag $b)$, durch welchen P gehoben wird,

$$h'_0 + h_1 = \frac{A'}{P}, \text{ folglich } h_0 = \frac{A}{P'} - h_1 \text{ und } h'_0 = \frac{A'}{P} - h_1;$$

also für gleiche Gröfse der Hebung $\frac{A}{P'} - h_1 = h'_0$. Wird für $A = P h$ substituiert, so ergibt sich

$$38) \quad P_1 = P \frac{h}{h'_0 + h_1},$$

wo also h und h_1 dem Flügelschlage $a)$ und h'_0 jenem von $b)$ zugehören.

Nimmt man also den Flügelschlag $a)$ für $n = 3\frac{1}{2}$, $m = 90$, $x = \frac{1}{3}$, mit welchem die Last oder P' eben so viel gehoben werden soll, wie das eigene Gewicht P bei dem Flügelschlage $b)$ für $n = 3$, $m = 90$, $x = \frac{1}{8}$, so ist nach §. 199 $h = 0'3223$,

$h'_0 = 0'1291$ und $h, = 0.0791$; demnach $P, = 1.451$ Pf.; davon $0.9375 = \frac{3}{5}$ Pf. für das Gewicht des Vogels abgezogen, bleibt für die Last $= 0.5135$ Pf.; d. i. der Vogel kann bei jenem Flügelschlage unter einem kleinen Winkel mit einer Last auf-fliegen, die etwas mehr als die Hälfte seines Gewichtes beträgt.

Der Adler,

§. 202.

Unter den beiden in der Tabelle zu §. 118 verzeichneten Steinadlern wählen wir die Dimensionen des zweiten b), der kurze Zeit nach seiner Erlegung ausgemessen und zergliedert worden ist. Hier ist nach §. 118 und §. 103 $P = 6$ Pf., $k = \frac{1}{2} l = 17\frac{1}{2}''$, $F = 652$ Q. Z. Hiernach ergibt sich für die Normalwirkung aus 23) für $m = 85^\circ$ und $x = \frac{1}{2}$, die Zahl der Flügelschläge $n = 1.744$. Die Geschwindigkeit des Flügels im Widerstandspunkte oder C ist dabei $= 10'06$.

Zur Berechnung der Geschwindigkeit $= v$ ist der mittlere Durchmesser des größten Querschnittes der widerstehenden Vorderfläche $= 7''$ oder $w = 38.46$ Q. Z.; die Länge der Schranke beträgt $= 30'' = \lambda$, die Flügelbreite $= 14'' = b$; die Fläche der Ruderfedern ist $= 88$ Q. Z. (§. 191), $k, = 30''$. Hiernach ist

$$\rho' w \sin \omega = 0.08287,$$

$$0.4\rho' f' \left(\frac{1 + q x}{n(1 + x)} \right) = 0.24975,$$

$$\rho' f \frac{k'^2}{k^2} \sin \beta = 0.7862,$$

$$\rho f' \frac{k''^2}{k^2} = 2.7570.$$

Demnach $v = 32'83$.

Setzt man für das Maximum des Schlagwinkels $m = 110^\circ$ ($\varphi = 75^\circ$, $\psi = 35^\circ$), so ergibt sich für die Zahl der Flügel-

schläge als Minimum $n = 1.464$. Die zu diesem Flügelschlage gehörige Geschwindigkeit ist $C = 10'927$, und $v = 33'35$. In beiden Fällen ist die effektive Hebung $= 0$.

Für $n = 2$, $m = 90$ $x = \frac{1}{3}$, wird

$$C = 12'21$$

und $v = 41'83$,

$$\left. \begin{array}{l} h = 0'4901 \\ h_1 = 0'2423 \end{array} \right\} h_0 = 0'2478.$$

Ist $m = 100^0$, so wird

$$C = 13'57$$

und $v = 46'59$,

$$\left. \begin{array}{l} h = 0'6532 \\ h_1 = 0'2423 \end{array} \right\} h_0 = 0'4109.$$

Für $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 90$, $x = \frac{1}{3}$ wird

$$C = 15'26$$

und $v = 56'67$,

$$\left. \begin{array}{l} h = 0'7658 \\ h_1 = 0'1551 \end{array} \right\} h_0 = 0'6107.$$

Für $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 100^0$, $x = \frac{1}{3}$ wird

$$C = 16'96$$

und $v = 62'97$,

$$\left. \begin{array}{l} h = 1'0207 \\ h_1 = 0'1551 \end{array} \right\} h_0 = 0'8656.$$

Für $n = 3$, $m = 90^0$, $x = \frac{1}{3}$ wird

$$C = 18'317$$

und $v = 72'21$,

$$\left. \begin{array}{l} h = 1'1027 \\ h_1 = 0'1077 \end{array} \right\} h_0 = 0'9950.$$

Da der Beobachtung nach dieser Vogel höchstens 3 Flügelschläge in einer Sekunde macht, so ist dieser Werth von C als

ein Maximum anzusehen, das der Steifigkeit des Flügels entspricht, und nicht viel überschritten werden kann.

Für $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{2}$ wird

$$C = 17'17$$

und $v = 64'81$,

$$\left. \begin{array}{l} h = 0'9698 \\ h_1 = 0'2757 \end{array} \right\} h_0 = 0'6941.$$

Für $n = 2.1958$, $m = 75$, $x = 1$ wird

$$C = 16'782$$

und $v = 62'85$.

Bei diesem Flügelschlage wird $h_0 = 0$, oder es findet keine Hebung Statt, wie bei der Normalwirkung, so daß der Vogel bei bestimmten Verhältnissen zwischen n , m und x mit jeder Geschwindigkeit innerhalb deren Grenze fortziehen kann, ohne sich zu heben (§. 175).

Für $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 75^\circ$, $x = 1$ wird

$$C = 19'08$$

und $v = 74'54$,

$$\left. \begin{array}{l} h = 1'0365 \\ h_1 = 0'6203 \end{array} \right\} h_0 = 0'4162.$$

Hier ist C schon etwas größer als $18'317$. Für diesen Werth von C , $n = 3$ und $x = 1$, wird $m = 60^\circ$, und dann $v = 75'89$; so daß die Geschwindigkeit $= 75'$ als die größte anzusehen ist, die der Vogel erreichen kann.

§. 203.

Aus der Vergleichung der obigen Werthe von h_0 mit jenen bei der Krähe ersieht man, daß der Adler bedeutend leichter die Höhe gewinne, als es kleinere Ruderflügler zu thun im Stande sind. Wenn daher auch die Krähen den Adler und ähnliche große Raubvögel in den unteren Regionen eine Zeit lang zu verfolgen

im Stande sind, so sind sie genöthigt, alsbald zurück zu bleiben, wenn letztere sich in die Höhe erheben.

Mit dem Flügelschlage von $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{3}$, welcher für diesen Vogel als eine mittlere Kraftanstrengung genommen werden kann, würde sich der Adler auf die Höhe von 4000' in $43\frac{2}{3}$ Minuten erheben, und dazu bei der vollen Geschwindigkeit, die diesem Flügelschlage zugehört, einen Weg von 6.18 Meilen in gerader oder gewundener Richtung zu machen haben. Für dasselbe n und $m = 100$ würde dieselbe Höhe mit eingezogenen Ruderfedern, wobei $v = 19'88$ statt $62'97$ wird, in 30.8 Minuten und einem Wege von 1.53 Meilen erreicht.

Wenn unter demselben Flügelschlage von $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 100$ der Flügel eine negative Neigung von 1° erhält, so vermindert sich nach §. 200 die Geschwindigkeit v auf $= 7'35$ und der Neigungswinkel wird 17° , so daß dann der Vogel die Höhe von 650' aus der Entfernung von 2205' in 5 Minuten, oder die Höhe von 4000' in 30.8 Minuten aus der Entfernung von 13580' erreicht. Eine solche geringe Neigung der Flügelebene kann schon durch die stärkere Niederziehung der Fächer- und Schwungfedern mittelst des Antagonisten des langen Mittelhandstreckers (§. 54) auch ohne Mitwirkung des kleinsten Brustmuskels (§. 37), dem zunächst diese Richtung der Flügelebene zukommt, gegeben werden.

Übrigens machen diese Vögel, so wie die Geier, große Steigungen niemals mit gleichförmig fortgesetztem Flügelschlage, weil sie so gut, wie andere Thiere im Laufen und Ersteigung von Anhöhen, periodisch des Ausruhens bedürfen. Sie steigen eine Strecke gerade aus oder in einer Schneckenlinie, fliegen dann wieder eine Strecke horizontal oder mit geringerer Steigung, zum Theil schwebend, steigen wieder u. s. f.

§. 204.

Wenn sich der Vogel unter dem Flügelschlage für $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 90$, $x = \frac{1}{3}$ mit einer Last hebt, und die Hebung dabei

dieselbe seyn soll, welche dem Flügelschlage des unbelasteten Vogels für $n = 2$, $m = 90$, $x = \frac{1}{3}$ zugehört, so wird in der obigen Formel 38) nach den vorigen Bestimmungen $h = 0'7658$, $h'_0 = 0'2478$, $h_1 = 0'1551$, $P = 6$ Pf., sonach $P_1 = 11.40$ Pf., also die gehobene Last $= 5.4$ Pf. Für die größte Kraftanstrengung oder für $n = 3$, $m = 90$, $x = \frac{1}{3}$ wird nach Substitution der zugehörigen Werthe für h , h'_0 und h_1 , $P_1 = 18.61$, oder in diesem Falle würde die noch möglicher Weise gehobene Last das Doppelte des eigenen Gewichtes betragen.

Übrigens wird es so grossen Vögeln, deren Flügel verhältnissmässig länger sind als bei den kleineren, schwer, mit einer bedeutenden Last vom Boden aus der Ruhe aufzufliegen. Das Hinderniss liegt in der Schwierigkeit, mit den langen Flügeln den zur Hebung nöthigen Schlagwinkel zu erreichen, weil dazu eine Erhebung über der Bodenfläche gehört, die $= l \sin \frac{1}{3} m$ ist, da $\frac{1}{3}$ des Schlagwinkels unter die Horizontallinie fällt. Der Vogel macht daher beim Aufliegen einen Sprung, für welchen seine langen Schenkel geeignet sind, und macht den ersten Flügelschlag mit grosser Energie, also bei grossem x unter einem geringen Schlagwinkel, wie oben unter $m = 60^\circ$ bei $x = 1$, um sogleich die nöthige Erhebung zur Entfaltung des Flügelschlages zu gewinnen. Diese nöthige Sprunghöhe gewinnt er zwar leicht mit seinem eigenen Gewichte, aber bei dem grösseren Momente um so schwerer mit einer Last, deren Hebung er daher viel leichter im Fluge oder im Stossen bewirkt, wovon nachher die Rede ist.

Die Taube.

§. 205.

Die Flügel der Taube gehören zu den Schnellflügeln; die Lenkfeder geht bis zur Spitze des Flügels, und die ersten Schwungfedern sind nur sehr wenig oder gar nicht ausgeschnitten. Die

Breite des Flügels ist jedoch verhältnissmässig gröfser als bei anderen Schnellflügeln, und nähert sich in diesem Verhältnisse jener des Flügels der Krähe; daher sie auch gut schweben kann.

Bei einer Haustaube fand sich: $P = 20$ Loth, $l = 11\frac{1}{2}$ Zoll, $b = 4\frac{3}{4}$ Zoll. Hiernach ergibt sich aus 23) für $m = 90^\circ$, $n = 3.797$. Die dazu gehörige Geschwindigkeit des Flügels ist nach 19) $C = 7' 617$.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit v ist der Durchmesser des grössten Querschnittes des widerstehenden Vordertheiles $= 2'' 548$ oder die Querschnittsfläche $= 5.096$ Q.Z.; die Länge der Schranke ist $= l$. In der Formel 35) wird $\rho' f \frac{k'^2}{k^2} \sin \beta = 0$, da keine Ruderfedern vorhanden sind; ferner ist $\frac{k''^2}{k^2} = 1$, da die Schrankenlänge der Flügellänge gleich ist; folglich wird

$$\rho f \frac{k''^2}{k^2} = 0.48807,$$

$$\rho' w \sin \omega = 0.01098,$$

$$0.4 \rho' f' \left(\frac{1 + qx}{n(1 + x)} \right) = 0.01492,$$

für den obigen Werth von n .

Hiernach wird aus 35) $v = 33' 06$.

Im schnellen Fluge oder beim Steigen macht die Taube gewöhnlich 5 Flügelschläge.

Für $n = 5$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{2}$ wird sonach

$$C = 10' 03$$

$$\text{und } v = 46' 91.$$

Für $n = 5$, $m = 100^\circ$, $x = \frac{1}{3}$ wird

$$C = 11' 145$$

$$\text{und } v = 52' 13.$$

Für einen anhaltenden Flug mit grosser Geschwindigkeit scheint der Flügelschlag für $n = 4$, $m = 90^\circ$, $x = 1$ am

passendsten zu seyn. In diesem Falle wird $C = 12'036$ und $v = 55'30$.

Für den Flügelschlag von $n = 5$ und $m = 100^\circ$ ist

$$\left. \begin{array}{l} h = 0'1553 \\ h_1 = 0'0387 \end{array} \right\} h_0 = 0'1166,$$

also $h_0 \times n = 0'5830$.

Wenn die Taube aufsteigt, macht sie einen sehr grossen Schlagwinkel, für den φ selbst $= 90^\circ$ wird; setzt man also $n = 5$, $m = 120^\circ$, $x = \frac{1}{3}$, so wird

$$\left. \begin{array}{l} h = 0'3173 \\ h_1 = 0'0387 \end{array} \right\} h_0 = 0'2786,$$

also $h_0 \times n = 1'3930$.

Bei diesem Flügelschlage wird $C = 13'374$ und $v = 62'55$. Durch die Verminderung der Schranke, wodurch $0.0269 \rho l b = 0.03938$ wird, und unter der negativen Flügelneigung von 1° , wodurch $\rho F \sin \alpha = 0.03407$, wird diese Geschwindigkeit auf $6'524$ vermindert, so dafs unter diesen Verhältnissen

$$\frac{1'393}{6'524} = \tan 12^\circ 3'.$$

Bei einer sehr geringen Vergrößerung von α , hebt sich die Geschwindigkeit vorwärts auf, und der Vogel kann sich dann unter demselben Flügelschlage senkrecht mit $= 1'393$ in einer Sekunde erheben. Durch Veränderung des Werthes von $0.0269 \rho b l$ vermöge der variablen Wirkung der Vorwärtswender und Beuger des grossen Fingers und durch die Änderung des Winkels α' entstehen auch bei demselben Flügelschlage sehr verschiedene Hebungsvariationen oft in kurzen Zeiträumen hinter einander.

§. 206.

Vergleicht man die obigen Hebungsgrößen mit jenen bei der Krähe und dem Adler, so sieht man, dafs sie bedeutend kleiner sind, und dafs sie überhaupt mit der Gröfse des Vogels abnehmen,

weil das der Flügellänge proportionale k in der Formel 20) mit dem Kubus in Rechnung kommt, und die Schnellflügel, welche in der Regel den kleineren Vögeln gehören, überhaupt verhältnissmässig kürzer sind. Die durch diese Verkürzung bedingte grössere Zahl der Flügelschläge setzt jedoch den Vogel in den Stand, bei voller Wirkung der Flügelstreckung und der Schranke schon nach einigen Flügelschlägen oder in der Fraktion einer Sekunde eine bedeutende Geschwindigkeit zu erreichen, und diese Geschwindigkeit zur Steigung zu benützen, indem er seiner Längsaxe mittelst des Schwanzes den beliebigen Richtungswinkel gibt. Ist nämlich die durch schnelle Flügelschläge beim Auffluge erworbene Geschwindigkeit $= v$, so zerlegt sie sich auf der schiefen unter dem Winkel γ geneigten Richtungslinie in die lothrecht wirkende $= v \sin \gamma$ und in die horizontale $= v \cos \gamma$. Hat z. B. beim ersten Auffluge der Vogel die Geschwindigkeit von 20' erworben, und er gibt seiner Längsaxe einen Winkel von 60° mit der horizontalen, so geht er mit der Geschwindigkeit $= 17'32$ aufwärts, und mit jener von 10' vorwärts (§. 208).

Der Sperling.

§. 207.

Bei einem Haussperling ergab sich $P = 1\frac{3}{4}$ Loth, $l = 4\frac{1}{2}$ Z., $b = 2\frac{1}{3}$ Zoll, folglich $F = 14$ Q. Z. Hiernach wird aus 23) für $m = 90^\circ$ und $x = \frac{1}{3}$, $n = 6.30$. Die zu diesem Flügelschlage gehörige Geschwindigkeit des Flügels ist $C = 4'948$.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit $= v$ ist der Durchmesser des grössten Querschnittes des widerstehenden Vordertheiles $= 1\frac{1}{2}''$; die Länge der Schranke $= l$. Die Höhe der Schranke ist für diesen Doppelflügel (§. 188) für $\frac{1}{2} b$ zu bemessen (§. 192), daher die Projektion der beiderseitigen Schrankenfläche

$$f' = \frac{1}{6} b l = 1.75 \text{ Q. Z.}$$

Wegen des Schnellflügels wird hier in der Formel 35) ebenfalls

$$\rho' f \frac{k'^2}{k^2} \sin \beta = 0 \quad \text{und} \quad \frac{k''^2}{k^2} = 1,$$

demnach

$$\rho' f \frac{k''^2}{k^2} = 0.04684,$$

$$\rho' w \sin \omega = 0.00355,$$

$$0.4 \rho' f' \left(\frac{1 + qx}{n(1 + x)} \right) = 0.00086 \quad (\text{für das obige } n).$$

Hiernach wird aus 35)

$$v = 16' 127.$$

Bei einem schnelleren Flügelschlage der Vögel dieser Größe beginnt der schwirrende Ton, bei welchem also wenigstens 8 Flügelschläge in der Sekunde Statt finden. Nimmt man die Grenzen der Werthe von n , wie bei der Krähe in dem Verhältnisse von $2\frac{1}{2}$ zu 4, so werden diese Werthe hier 6.3 und 10.

Für $n = 8$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{2}$ wird

$$C = 6' 28$$

$$\text{und } v = 20' 90.$$

Für $n = 8$, $m = 100^\circ$, $x = \frac{1}{2}$ wird

$$C = 6' 978$$

$$\text{und } v = 23' 22.$$

Für $n = 10$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{2}$ wird

$$C = 7' 850$$

$$\text{und } v = 26' 73.$$

Die größte Geschwindigkeit scheint für diesen Vogel durch den Flügelschlag für $n = 8$, $m = 90$, $x = 1$ gegeben, für welchen $C = 9' 420$ und $v = 31' 95$ wird.

Für den Flügelschlag zu $n = 8$, $m = 100^\circ$, $x = \frac{1}{2}$ wird

$$\left. \begin{array}{l} h = 0' 05234 \\ h_1 = 0' 01514 \end{array} \right\} h_0 = 0' 03720,$$

$$\text{also } h_0 \times n = 0' 2976.$$

§. 208.

Bei so kleinen Vögeln wird also die unmittelbar durch den Flügelschlag bewirkte effektive Steigung schon sehr gering; sie wird daher in der Regel, wie vorher (§. 203) erwähnt, durch die Auflösung der horizontalen Geschwindigkeit v , welche vermöge der grossen Schnelligkeit der Flügelschläge in einer sehr kleinen Zeit erworben wird, in die senkrechte bewirkt. So sieht man den Sperling, am Fusse einer 6 Fufs hohen Mauer sitzend, nach einigen schnellen Flügelschlägen mit aufgerichtetem Leibe und eingezogenen Flügeln senkrecht in die Höhe schiessen, um die Mauer zu überschreiten, oder sich auf derselben niederzulassen. Die dieser Höhe zugehörige Geschwindigkeit ist $= 19'29$, welche bei dem Flügelschlage für $n = 8$ etwa in $\frac{1}{3}$ Sekunde erworben wird. Auf eben diese Art erhebt sich die Lerche, wenn sie steigt, im Anfange schnell auf eine Höhe von 5 bis 6 Fufs, worauf dann ihre senkrechte Hebung durch die Wirkung des Flügelschlages nur langsam unter fortgesetztem Flügelschlage erfolgt. Eben diese Leichtigkeit oder Gewohnheit, die durch den schnellen Flügelschlag erworbene Geschwindigkeit zur Steigung zu verwenden, veranlaßt diese Vögel zu ihrem wellenförmigen, oder aus parabolischen Kurven zusammengesetzten Fluge, der ihren Brustmuskeln während des Steigens und Fallens Erholung gestattet. Mit der Geschwindigkeit v , die der Vogel im Fluge erlangt hat, hebt er sich durch Neigung seiner Längsaxe mittelst des Schwanzes unter einem Winkel γ , erreicht mit eingezogenen Flügeln die der Geschwindigkeit $v \sin \gamma$ zugehörige Höhe, während er den horizontalen Weg $v \cos \gamma$ zurücklegt; erlangt am Ende des Falles von dieser Höhe einen Theil der vorigen Geschwindigkeit, welche er mittelst des schnellen Flügelschlages in dem Bruchtheile einer Sekunde auf die vorige ergänzt, und legt so den Weg $= 2 v \cos \gamma$

mit geringerem Kraftaufwande oder mit partieller Ruhe der Muskelthätigkeit zurück.

Aus der vorhergehenden Vergleichung ergibt sich, daß die Geschwindigkeit des Vogels $= v$ mit seiner Gröfse zunehme. Wenn nämlich die Flügeldimension beiläufig in demselben Verhältnisse zum Gewichte bleibt, wie das bei den grofsen Ruderflüglern nahe der Fall ist; so ändert sich die Geschwindigkeit $= C$ durch k und n , weil die Art des Flügelschlages rücksichtlich der Werthe von m und x sich nicht ändert. Nun nimmt aber nach §. 220 mit der Zunahme des Gewichtes und der Flügellänge n in einem geringeren Verhältnisse ab, als l oder k zunimmt; folglich wird C für denselben Flügelschlag mit der Flügellänge verhältnißmäfsig gröfser, also auch v .

Sechstes Kapitel.

Vom Schwerpunkte des Vogels.

§. 209.

Aus den bisherigen Nachweisungen geht von selbst hervor, daß bei einem bestimmten Flügelschlage die grösste Geschwindigkeit des Vogels nur bei dem kleinsten Widerstande auf die Vorderfläche erreicht werden könne, welche Fläche unter gleichen Umständen die möglich kleinste nur dann ist, wenn der Vogel so fortzieht, daß seine durch den Kopf und die Schwanzebene gehende Längenaxe in der Richtungslinie seiner Bewegung liegt. Diese Bedingung kann nur erfüllt werden, wenn der Schwerpunkt des Körpers so liegt, daß er durch den von dem Niederschlage des Flügels erzeugten Widerstand unterstützt wird, d. i. daß er in dem Scheitel der parabolischen Mittellinie des Widerstandes der Flügel liegt (§. 152).

Läge der Schwerpunkt des Vogelkörpers zwischen den Flügelgelenken, so würde der Vogel mit jedem Flügelschlage nach vorn überstürzen, weil die mittlere Widerstandslinie der Flügel hinter der vorderen durch die Flügelgelenke gehenden Flügelkante liegt, folglich hier der Widerstand als Kraft den Flügel, also auch, da der Flügel mit dem Körper vermöge der Muskeln und Bänder eine feste Stellung hat, den Körper selbst um die Flügelaxe zu drehen sucht. Liegt dagegen der Schwerpunkt in der mittleren Widerstandslinie der Flügel, so hat er die nöthige Unterstützung, und der Körper behält in Folge des Flügelschlages die der Bewegungslinie parallele Lage, vorausgesetzt, daß der Rumpf mit den Flügelgelenken in einer steifen Verbindung sich befindet.

§. 210.

Diese steife Verbindung des Rumpfes mit dem Kopfe des Oberarmknochens während des Flügelschlages wird aufser den Muskeln, welche den Flügel in seiner Lage halten, hauptsächlich durch den breiten Rückenmuskel bewirkt (§. 42), der den steifen Rücken seiner ganzen Länge nach mit Einschluss des Kreuzbeines übergreift, und von der Pfanne des Flügelgelenkes aus mit langem Hebel an dem Oberarmbeinkopfe, der Wirkung des Brustmuskels antagonistisch, zur Verbindung des Rumpfes mit dem Oberarm während des Niederschlages wirkt, und den Rumpf von hinten nach vorn hebt, indem seine Insertion am Oberarmbein während des Niederschlages einen festen Punkt hat. Zur Unterstützung der Wirkung dieses Muskels dient bei den langschwänzigen Vögeln die Niederschlagung des Schwanzes beim ersten Auffluge unter einen grossen Winkel (für das Maximum der Wirkung unter dem Winkel von $54^{\circ} 44'$), und bei den langhalsigen Sumpf- und Wasservögeln die Vorstreckung des Halses. Vermöge dieser Wirkungen wird beim ersten Auffliegen des Vogels der im ersten Augenblicke nach hinten und unten hängende Leib nach einigen Flügelschlägen

in die horizontale, oder überhaupt der Bewegungslinie parallele Lage gebracht, und damit durch die bei jedem Niederschlage fortwirkende Reaktion des breiten Rückenmuskels darin erhalten. Endlich trägt auch zur Hebung des hinteren Theiles des Rumpfes im Niederschlage der große Brustmuskel selbst bei, nämlich diejenige Portion desselben, die am hinteren Theile des langen Brustbeines befestiget ist; indem die Reaktion dieses Theiles auf diesen Theil des Brustbeines letzteres nothwendig heben muß, während seine Kontraktion zur Niederbewegung des Oberarms wirksam ist.

§. 211.

Denkt man sich die mittlere Widerstandslinie durch beide ausgestreckte Flügel gezogen, so liegt demnach der Schwerpunkt des Vogels in dem Scheitel dieser parabolischen Linie, welche die parabolische Flügelfläche der Länge nach in zwei gleiche Hälften theilt. Der Schwerpunkt liegt also um die halbe Breite des Flügels rückwärts von der Linie entfernt, welche die beiden Flügelgelenke verbindet. Dabei wird vorausgesetzt, daß der Widerstand auf die Flügelebene der Breite nach beim Niederschlage gleichförmig, und dabei gegen den vorderen Rand, wo die Luft an die Schranke stößt, nicht größer sey, als gegen den hinteren, wo die Luft leichter ausweichen kann. Daß diese Ungleichförmigkeit nicht merklich sey, ohne Zweifel wegen der Einrichtung des Flügels, den Fächerfedern eine Biegung nach abwärts zu geben, erhellet daraus, daß die mit verschiedenen Vögeln vorgenommenen Messungen mit dieser aus der Theorie folgenden Regel nahe zusammenstimmen. Bei diesen Versuchen mit verschiedenartigen Vögeln, wurden diese mit Hals, Flügeln und Schenkeln so ausgespannt, wie es im Fluge der Fall ist, in dieser Lage mittelst zweier gleich dicker Stäbe, der eine durch die Flügelebene, der andere nach der Längenaxe des Vogels befestiget, und nun durch Aufhängen der Punkt gesucht, an welchem der Körper die horizon-

tale Lage annahm. Dieser Punkt fand sich immer mit der vorigen Bestimmung so nahe übereinstimmend, als es unter ähnlichen Umständen erwartet werden kann.

Die Lage des Schwerpunktes und die Flügelbreite stehen demnach in wechselseitiger Beziehung zu einander, und da die Entfernung des Schwerpunktes von den Flügelgelenken ein aliquoter Theil der Länge des Rumpfes ist, so müssen die Flügel im Verhältnisse zu ihrer Länge um so breiter werden, je kürzer sie im Verhältnisse zur Länge des Rumpfes sind. Daher haben viele kleinere Vögel, die mit verhältnißmäßig kürzeren Flügeln versehen sind, eine größere Flügelbreite, die bei einigen gleichsam einen Doppelflügel bildet, der aus zwei symmetrischen halben Parabeln besteht (§. 188).

§. 212.

Da nach dem Vorigen der Schwerpunkt des Vogels bedeutend hinter dem Flügelgelenke liegt, also der hintere Theil des Rumpfes, wenn man den Vogel an den Flügelschultern aufhebt, stark nach unten hängt, der Vogel aber dennoch im Fluge in horizontaler Lage erscheint; so hat man sich vorgestellt, daß der Vogel hauptsächlich durch den durch seine Geschwindigkeit erzeugten Widerstand auf seine schief geneigte Unterfläche in der Luft getragen werde; und man hat selbst in neuerer Zeit in England Versuche mit einer Flugmaschine auf dieses Princip gegründet. Allein außerdem, daß durch diese schiefe Neigung der Längsaxe des Vogels seine Geschwindigkeit wegen des vermehrten vorderen Widerstandes bedeutend vermindert würde, so wäre hierzu ein viel größerer Kraftaufwand erforderlich, als dieses bei der Hebung durch den Flügelschlag der Fall ist. Ist nämlich die Unterfläche des Vogels, auf welche der schiefe Widerstand wirken kann, $= w$, der Winkel, unter dem diese Fläche gegen die Bewegungsrichtung geneigt ist, $= i$, sein Gewicht $= P$ und

die Geschwindigkeit $= v$, so ist

$$P = \frac{\rho' n}{2g} w v^2 \sin^2 i \cos i.$$

Nimmt man z. B. die Krähe, so beträgt deren Unterfläche mit ausgebreitetem Schwanze und Einrechnung der halben Flügelfläche $= 1,187 \text{ Q. F.} = w$; den Winkel $i = 20^\circ$ genommen, den man jedenfalls an dem horizontal ziehenden Vogel bemerken müßte (was nicht der Fall ist), so ergibt sich $v = 72'94$. Mit dieser Geschwindigkeit müßte der Vogel sich bewegen, wenn sein Gewicht unter jenem Winkel durch den Luftwiderstand getragen werden sollte. Für die Normalwirkung der Krähe ist aber nach (§. 198) $v = 23'4$. Nun ist unter gleichen Verhältnissen v dem C proportional (§. 186), welches wieder der Kraft des Flügelschlages entspricht; folglich ist die Kraft, welche der Vogel aufwenden müßte, um sein Gewicht oder einen Theil desselben mittelst der schiefen Neigung zu tragen, mehr als drei Mal so groß, als bei der horizontalen Lage und dem senkrechten Flügelschlage nöthig ist. Bei einem kleineren Neigungswinkel würde der Kraftverlust noch größer.

Defshalb hat die Natur bei den Fliegern jede Einrichtung getroffen, um ihnen bei ihrem Fluge die möglichst genaue horizontale oder der Bewegungsrichtung parallele Richtung ihrer Längsaxe möglich zu machen. Selbst bei den Veränderungen der Lage dieser Längsaxe nach aufwärts oder abwärts zum Behufe des Aufsteigens oder Niedersinkens während des Fluges mittelst der Hebung oder Senkung des Schwanzes ist der Widerstand, den die schiefe Neigung des letzteren hervorbringt, so gering, daß er auf die erworbene Geschwindigkeit keinen Einfluß hat. Denn da bei der oben nachgewiesenen Lage des Schwerpunktes dieser nahe in der Mitte des Rumpfes, folglich nahe in der Mitte der horizontalen Längsaxe liegt; so bedarf es nur einer sehr geringen Nei-

gung oder Hebung des Schwanzes bei den langschwänzigen, oder einer geringen Vorstreckung des Halses bei den kurzschwänzigen Fliegern, um durch Verrückung des Schwerpunktes nach vorn oder nach rückwärts die Längenaxe zu senken oder aufzurichten, eine Bewegung, die ohnehin beinahe augenblicklich geschieht.

Eben diese Lage des Schwerpunktes nahe in der Mitte des Rumpfes erleichtert auch ungemein die Wendung des Vogels in der Horizontalebene mittelst der einseitigen Einziehung des Lenkfittichs oder der Lenkfeder, indem der Widerstand, welcher im Niederschlage des Flügels auf den vorgelegten Lenkfittich oder die Lenkfeder wirkt, den Körper unter dem Hebelarme, welcher der Entfernung derselben von dem Schwerpunkte gleich ist, um den Schwerpunkt dreht, so daß zur Bewirkung dieser Drehung dieser einseitige Impuls nur gering zu seyn braucht.

Siebentes Kapitel.

Vom Flügelgewichte.

§. 213.

Die Flügel sind die Theile des Vogelkörpers, welche während des Fluges in beständiger Bewegung erhalten werden; der zu dieser Bewegung nöthige Kraftaufwand ist also im Allgemeinen um so geringer, je geringer die Masse oder das Gewicht dieser Flügel ist. Überdies geschieht die Hebung des Flügels während des Rückschlages in sehr kurzer Zeit, die Ökonomie der Muskelkraft verlangt also auch deshalb ihr geringes Gewicht, obgleich durch die Reaktion des kleinen Brustmuskels, der diese Bewegung bewirkt, dieser Kraftaufwand für die Hebung selbst nicht verloren ist (§. 176). Auf der anderen Seite ist dieses Gewicht durch die Flügelknochen und die an diesen befindlichen

Streck- und Beugemuskeln bedingt, deren Stärke mit der Kraft des Niederschlages im Verhältnisse stehen muß. Allerdings hat die Natur in der Struktur des Flügels für mögliche Leichtigkeit gesorgt. Die an den Armknochen befindlichen Muskeln haben eine mehr sehnige Struktur als die des Rumpfes; die Knochen sind dünn und dennoch stark, und der Oberarmknochen, als der stärkste, ist hohl; die Federbedeckung des Flügels ist leicht, und die große Schwungfeder eines Adlers z. B. wiegt bei einer Länge von 19 Zoll nur 57 Gran. Demungeachtet geben diese Knochen, Federn, die Muskeln, Sehnen und zahlreichen Häute, deren größte Ausbildung zur Bewirkung der Flugbewegungen nothwendig ist, den Flügeln ein bedeutendes Gewicht, das beiläufig $\frac{1}{6}$ des Totalgewichtes und bei den großen Fliegern noch mehr beträgt. Wir müssen sonach untersuchen, welches Verhältniß die Natur angewandt habe, um hierbei die möglichste Ökonomie an Kraft zu erreichen.

§. 214.

Es ist einleuchtend, daß in dieser Beziehung die Einrichtung am vollkommensten wäre, wenn der Flügel gar kein Gewicht hätte. Denn die Beschleunigung, welche im Niederschlage durch das Gewicht des Flügels hervorgebracht wird, vermindert die nützliche Wirkung des großen Brustmuskels zur Hebung, weil jene Beschleunigung in der Richtung seiner Kontraktion liegt, folglich bei gleicher GröÙe der letzteren, die Reaktion, welche die Hebung zu bewirken hat, um so viel geringer ist. Um diesen Verlust oder leeren Gang zu ersetzen, müÙte der Brustmuskel eine stärkere Anstrengung machen, um dieselbe Reaktion gegen den Rumpf zu erhalten, die bei dem Flügel ohne Gewicht Statt finden würde.

Dieser an sich unmöglichen Bedingung kommt man am nächsten, wenn man annimmt, daß der Flügel ein so großes Gewicht

habe, dafs er bei der mittleren Geschwindigkeit seines Widerstandspunktes $= C$, einen Widerstand erleidet, welcher seinem eigenen Gewichte, auf diesen Widerstandspunkt reduzirt, gleich ist. In diesem Falle ist nach den Gesetzen der Bewegung in einem widerstehenden Mittel keine Beschleunigung vorhanden. Das vortheilhafteste Maximum für das Flügelgewicht mufs daher Statt finden, wenn der durch C , nämlich in der geringsten Geschwindigkeit des Niederschlages, also in der Normalwirkung erzeugte Widerstand auf den Flügel seinem eigenen Gewichte gleich ist. In diesem Falle ist sein Gewicht sowohl für jene Geschwindigkeit als auch für jede grössere, in Beziehung auf die äufsere Kraft, welche diese Geschwindigkeit hervor bringt, aufgehoben, und die Reaktion des grossen Brustmuskels ist wenigstens nahe dieselbe, als wenn im Niederschlage der Flügel ohne Gewicht wäre, und die Kraft des Muskels mit dem gewichtlosen Flügel die Geschwindigkeit $= C$, zu bewirken hätte.

§. 215.

Wenn diese Voraussetzung richtig ist, so mufs sie sich in der Erfahrung nachweisen lassen, da die Natur in allen ihren Einrichtungen dieser Art nur immer diejenige wählt, bei welcher die möglichste Ökonomie der Kraft bedingt ist.

Bezeichnet daher $P_{,,}$ das Gewicht des Flügels auf den Widerstandspunkt reduzirt, und ist $C, = \frac{1}{2} C$ (19), nämlich die mittlere als gleichförmig genommene Geschwindigkeit des Flügelschlages für die Normalwirkung, so ist nach der obigen Voraussetzung

$$P_{,,} = \frac{\rho^n}{2g} F C,^2.$$

Bezeichnet ferner k , die Entfernung des Schwerpunktes des Flügels, und k die Entfernung des Widerstandspunktes von der Drehungsaxe, so ist nach den Gesetzen der Drehbewegung

$$P_{,,} k^2 = P, k,^2,$$

wenn P , das Flügelgewicht selbst bezeichnet. Folglich ist

$$39) \quad P, = \frac{k^2}{k,^2} \frac{\rho''}{2g} F C,^2.$$

Der Schwerpunkt des ausgestreckten Flügels liegt nach mehreren Messungen, die mit Vogelflügeln verschiedener Art angestellt worden sind, nahe im dritten Theile der Flügellänge vom Umdrehungspunkte aus; folglich ist $k, = \frac{1}{3} l$, und da $k = \frac{1}{2} l$ so ist $\frac{k^2}{k,^2} = \frac{9}{4}$. P , drückt das Gewicht der beiden Flügel aus, da F für beide Flügel genommen wird.

Um hiernach P , zu berechnen, muß aus der Formel 23) für Pg der Werth von n , und hiernach aus 19) der Werth von $C, = \frac{1}{2} C$ bestimmt werden. Substituirt man diese Werthe in der obigen Gleichung 39) und setzt

$$\frac{9}{4} \frac{\rho''}{2} (\varphi + \psi)^2 (1 + x)^2 = A, \text{ und}$$

$$4 \rho p \frac{(1 + x)^4}{x^2} x (\varphi + \psi) = B,$$

so erhält man

$$40) \quad P, = \sqrt{\frac{A^2}{B}} P k F,$$

woraus in der (§. 217) folgenden Tafel für $m = 90^\circ$ und $x = \frac{1}{3}$ der Werth von P , oder das Flügelgewicht berechnet ist.

Das Flügelgewicht verhält sich hiernach wie die Quadratwurzel des Gewichtes des Vogels und der Flügelfläche mit der Entfernung ihres Widerstandspunktes multipliziert. Je weiter daher bei derselben Flügelfläche der Widerstandspunkt hinaus liegt, desto größer wird das Flügelgewicht, eine Bedingung, die auch aus anderen Gründen durch die nöthige Festigkeit des Flügelbaues gefordert wird.

§. 216.

Das Flügelgewicht P , läßt sich unter der vorigen Voraussetzung auch unmittelbar in einer Funktion von P oder dem Ge-

wichte des Vogels angeben, indem man den Widerstand des Flügels auf den Angriffspunkt des grossen Brustmuskels reduzirt. Es bezeichne nämlich μ die Entfernung des Anheftungspunktes des grossen Brustmuskels am Oberarmbeinkopfe von dem Umdrehungspunkte, so ist das Moment des Zuges dieses Muskels an dem Hebelarme μ gleich dem Momente des durch C , erzeugten Widerstandes an dem Hebelarme k , oder es ist

$$P_{,,} k = \mu P, \quad \text{demnach} \quad P_{,,} = \frac{\mu}{k} P.$$

Da nun nach dem vorigen Paragraphe

$$P_{,,} = P, \frac{k',^2}{k^2} = \frac{4}{9} P,,$$

so ist

$$41) \quad P, = \frac{9}{4} \frac{\mu}{k} P,$$

wo $P,$ das Gewicht der beiden Flügel ausdrückt.

Der Werth von μ läßt sich bestimmen, wenn man, so genau als es angeht, die Entfernung des vorspringenden Winkels der Leiste am Oberarmbeinkopfe (§. 21) misst, an welcher der Brustmuskel befestiget ist, da dieser vorspringende Winkel ziemlich in der Mitte der Leiste liegt, und nahe den Punkt bildet, an welchem man den Zug des grossen Brustmuskels als den mittleren annehmen kann.

§. 217.

In der nachfolgenden Tafel sind für verschiedenartige Vögel diese durch die Messung gefundenen Werthe von μ angegeben; nebst den durch Abwägung gefundenen Gewichten der Flügel, die letzteren mit den Muskeln des Oberarms genommen, und nur die Muskeln, die vom Rumpfe aus am Oberarmbeinkopfe inseriren, davon getrennt. Die Werthe des Flügelgewichtes sind sowohl nach der Formel 40) als jener 41) berechnet. In der zweiten Kolumne ist das Gewicht des Vogels hinzugefügt; die übrigen Dimensionen finden sich in der Tafel §. 118.

Namen	Werth von		Beob. Gewicht beider Flügel	Berechn. Gewicht nach		Werth von $\frac{\mu}{k}$
	P	μ		Formel 40)	Formel 41)	
Saatgans. .	6 $\frac{1}{2}$ Pf.	12'''	28 Lth.	26 $\frac{1}{4}$ Lth.	32.14 Lth.	0.0582
Thurmfalk .	14 Lth.	5'''	2 „	1.91 „	2.10 „	0.0606
Kibitz . .	13 „	5 $\frac{1}{2}$ '''	2 „	1.93 „	2.23 „	0.0658
Taubenhabicht	38 $\frac{1}{2}$ „	8'''	6 $\frac{1}{2}$ „	6.24 „	6.41 „	0.0720
Saatkrähe .	30 „	8'''	5 $\frac{1}{3}$ „	5.36 „	5.14 „	0.0794
Steinadler .	6 Pf.	1'' 7'''	38 „	38.02 „	39.04 „	0.0881
Seeadler . .	9 „	2'' 0'''	60 „	57.00 „	64.00 „	0.0926

Diese Vergleichung der Beobachtung mit der Rechnung nach beiden Formeln zeigt hinlängliche Übereinstimmung, um die Richtigkeit der Regel zu beweisen, welche die Natur hier befolgt hat; da bei der Schwierigkeit einer völlig genauen Bestimmung der Elemente dieser Rechnungen diese annähernde Übereinstimmung genügen muß, indem selbst die Ausmessung der Länge und Breite des Flügels, wodurch sich k und F bestimmt, bis auf Dezimale des Zolles unmöglich ist, eben so die Bestimmung von μ nur als eine annähernde betrachtet werden kann.

Aus dieser Untersuchung geht hervor, daß die Masse oder das Gewicht des Flügels in der Bestimmung des Momentes des Flügelniederschlages von keinem Einflusse ist, daher bei dieser Bestimmung auch nicht berücksichtigt werden durfte.

Aus den Werthen von $\frac{\mu}{k}$, oder dem Verhältniß des Hebelarmes des Brustmuskels zur Entfernung des Widerstandspunktes erhellet, daß dieselben bei den Schnellflügeln kleiner sind, als bei den Ruderflügeln, und daß sie bei letzteren mit der Gröfse des Vogels zunehmen, zumal jenen, welche häufig einen schwe-

benden Flug machen, für welchen, wie sich weiterhin ergibt, ein größeres μ von Vortheil ist.

Achtes Kapitel.

Von der Flügellänge.

§. 218.

Bei Vögeln ähnlicher Art, wenigstens von ähnlichen Flugfunktionen, vergrößern sich sämtliche Theile ihres Körpers nach dem einfachen Verhältnisse der körperlichen Dimension. Bei doppelt so großem Leib sind also auch die Flügel doppelt so groß. Weil nun die Masse oder das Gewicht sich wie der Kubus einer solchen Dimension verhält, so verhält sich daher auch die Flügellänge wie die Kubikwurzel des Gewichtes, oder das Gewicht wie der Kubus der Flügellänge. Dieses Verhältniß ergibt sich auch aus der Formel für Pg (23), wo $P = k^3 = l^3$, wenn die übrigen Werthe gleich bleiben.

Vergleicht man z. B. aus der Tafel §. 118 das Gewicht des Steinadlers zu jenem des Seeadlers aus der Flügellänge, so verhält sich

$$35^3 : 40^3 = 6 : 8.956 \text{ Pfund,}$$

was mit der Beobachtung übereinstimmt.

§. 219.

Eben dieses Verhältniß dient auch, um für verschiedene Arten von Vögeln das Verhältniß der Flügellänge zum Gewichte zu untersuchen. Vergleicht man z. B. den Seeadler mit dem grauen Geier, so ist $40^3 : 50^3 = 9 : 17.57$, folglich ist hier das Verhältniß der Flügellänge zum Gewichte wenig oder nichts verschieden. Vergleicht man die Saatkrähe mit dem Adler, so ist

$$\sqrt[3]{6} : \sqrt[3]{\frac{30}{32}} = 35'' : 18''85.$$

Die Flügellänge der Krähe, die $17\frac{1}{2}''$ beträgt, ist daher verhältnismässig kürzer. Im Vergleiche mit der Krähe wäre die Flügellänge des Taubenhabichts $= 19''$ statt $18''$, wegen welcher Verkürzung der letztere verhältnismässig schnellere Flügelschläge macht, seinen schnelleren Wendungen entsprechend.

Vergleicht man den Adler mit der Saatgans, so müsste letztere eine Flügellänge $= 35'' 48$ haben, statt $28''$; mit dem Thurmfalken verglichen wäre die Flügellänge des Adlers $= 29'' 92$ statt $35''$, und im Vergleiche mit der Krähe wäre die Flügellänge des Thurmfalken $= 13'' 57$ statt $12'' 5$. Die Schnellflügel sind also überhaupt kürzer als die Ruderflügel für gleiches Gewicht des Vogels, daher auch die Zahl ihrer Flügelschläge gröfser. Die Schwalben machen davon eine Ausnahme. Bei der Mauerschwalbe ist bei einem Gewichte $= 1$ Loth die Flügellänge $= 5\frac{1}{2}''$. Mit der Saatkrahe verglichen würde sie $5'' 63$ betragen.

Auf der anderen Seite sind die Flügel der Hühnerarten, die zu den Ruderflügeln gehören, sehr kurz. Das Auerwaldhuhn z. B. wiegt beinahe eben so viel als der Seeadler, und die Länge seines Flügels ist $= 24''$, während jene des letzteren $= 40''$ ist. Diese Vögel machen daher mit starker Muskelkraft, die durch ihre grossen Brustmuskeln gegeben ist, schnelle und heftige Flügelschläge, wozu ihre Flügel durch die steifen und starken Schwungfedern eingerichtet sind.

§. 220.

Setzt man in der Gleichung für P_g (23) denselben Werth von x und denselben Schlagwinkel, ferner $k = \frac{1}{2}l$, und bezeichnet die konstanten Werthe mit A , so wird

$$n^4 = \frac{P}{A F l^3}.$$

oder die vierte Potenz der Flügelschläge verhält sich gerade wie das Gewicht, und verkehrt wie die Flügelfläche und wie der Kubus

der Flügellänge. Hätten daher zwei Vögel gleiches Gewicht und gleiche Fläche, aber verschiedene Länge der Flügel; so würde sich die vierte Potenz der Flügelschläge verkehrt wie der Kubus der Flügellänge verhalten; woraus im Allgemeinen die Beziehung der Schnelligkeit der Flügelschläge zur Flügellänge ersichtlich ist, worüber die Gleichungen 20) und 23) die genauen Bestimmungen enthalten. Welchen Einfluss die Änderung von p oder der Luftdichtigkeit auf die Änderung der Flügelschläge habe, ist weiter unten §. 232 angegeben.

In dem Maße, als die Schnellflügel in der Regel verkürzt sind, ist, wie schon früher bemerkt, zur Erhaltung desselben Momentes eine größere Zahl von Flügelschlägen in einer Sekunde $= n$ erforderlich. Hierin liegt der natürliche Grund dieser Verkürzung, weil nur durch das größere n die Schnellflügler die verschiedenen Bewegungen auszuführen im Stande sind, die ihnen eigen sind, und welche sie von den Ruderflüglern unterscheiden.

Neuntes Kapitel.

Von dem Niedersinken und dem Schweben.

§. 221.

Da in dem Vorhergehenden bereits die Hauptbewegungen des Fluges in der Hebung, der horizontalen Bewegung und dem Steigen erörtert worden sind; so bleiben uns von denselben noch jene des Niedersinkens und des Schwebens zur Betrachtung übrig.

Wenn der Vogel niedersinkt, so geschieht es entweder aus dem Stande der Ruhe oder jenem der Bewegung. Im ersten Falle stürzt er sich von der Höhe mit eingezogenen Schwingen abwärts, indem er mittelst eines Impulses durch den Sprung und durch die Richtung des Schwanzes seine Längsaxe zu der Senkrechten neigt,

und sonach in einer steil geneigten schiefen Ebene abwärts fährt. Mit der am Ende des Falles erlangten Geschwindigkeit steigt der Vogel entweder wieder in die Höhe, vermöge der Änderung der Schwanzrichtung im Wendungspunkte, wo er ohne Flügelschläge einen Theil der vorigen Höhe erreicht und mit Flügelschlägen weiter geht, oder er benützt diese erworbene Geschwindigkeit zu seinem weiteren horizontalen oder steigenden Fluge, indem er durch jenen Fall bereits diejenige Geschwindigkeit erlangt hat, die er von der Erde oder von einer geringen Erhöhung aufsteigend erst durch mehrere Flügelschläge bis zur Erreichung des Beharrungsstandes hätte erlangen müssen. Diefs ist der Fall bei allen gröfseren Vögeln. Einen grofsen Raubvogel, z. B. den Adler, sieht man, wenn er durch einen Fehlschuß aufgeschreckt ist, beinahe senkrecht sich von seinem Sitze herabstürzen, und mit der erlangten Geschwindigkeit seinen Weg fortsetzen.

Ist der Vogel schon in der Bewegung mit der Geschwindigkeit $= v$, und er gibt mittelst der Hebung des Schwanzes seiner Längsaxe eine Richtung abwärts unter einem beliebigen Winkel, so sinkt er nach den Gesetzen dieser Bewegungsart in einer krummen Linie abwärts, die sich der parabolischen nähert, und erlangt am Ende derselben eine Geschwindigkeit $= v + gt = v + \sqrt{2gh}$, die bedeutend gröfser seyn kann als diejenige, die er durch das Maximum seiner Flügelschläge in horizontaler Bewegung hätte erlangen können.

Die sinkende Bewegung des Vogels geschieht jedoch immer mit einer Geschwindigkeit, die so grofs ist, dafs der Widerstand auf die dem Falle widerstehende Fläche bedeutend wird, daher diese Bewegungen mit Berücksichtigung dieses Widerstandes berechnet werden müssen. Zur leichteren Übersicht sind in der unten stehenden Anmerkung die Formeln angegeben, die zur Bestim-

mung des Falles der Körper in einem widerstehenden Mittel, zunächst in Beziehung auf den vorliegenden Gegenstand dienen ¹⁾.

¹⁾ Bezeichnet u die grösste Geschwindigkeit, welche ein Körper von bestimmter widerstehender Fläche im Falle erreichen kann, so ist die Höhe, aus welcher er in der Zeit t fällt,

$$1) \quad s_t = \frac{u^2}{g} \ln \cdot \frac{1}{2} \left(e^{\frac{gt}{u}} + e^{-\frac{gt}{u}} \right),$$

wo e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen $= 2.71828$.

Ist gt sehr groß gegen u , so verschwindet der kleine Bruch $e^{-\frac{gt}{u}}$, und es wird

$$2) \quad s_t = ut - \frac{u^2}{g} \ln \cdot 2.$$

Dieser Ausdruck gibt die Grösse des Fallraumes, wenn t einigermaßen beträchtlich ist. Aus demselben ergibt sich t für ein gegebenes s_t .

Die am Ende der Zeit t durch den Fall erlangte Geschwindigkeit ist

$$3) \quad u_t = u \frac{e^{\frac{gt}{u}} - 1}{e^{\frac{gt}{u}} + 1}.$$

Der Werth von u_t nähert sich also dem u um so mehr, je größer gt gegen u , weil dann 1 gegen $e^{\frac{gt}{u}}$ verschwindet; er würde in aller Strenge den Werth von u zwar nur in unendlicher Zeit erreichen, differirt aber in einer beschränkten Zeit nicht merklich, die um so kürzer ist, je kleiner u . Dann ist $u_t = u$ die grösste Geschwindigkeit, und die Bewegung ist gleichförmig.

Für die obigen Fälle des Textes, wo t nicht groß ist, können die Werthe von s_t und u_t bequemer aus den Reihen berechnet werden: es ist nämlich

$$4) \quad s_t = \frac{1}{2} g t^2 - \frac{g^3 t^4}{12 u^2} + \frac{g^5 t^6}{45 u^4} - \frac{241 g^7 t^8}{20160 u^6} + \dots$$

$$u_t = gt - \frac{g^3 t^3}{3 u^2} + \frac{2 g^5 t^5}{15 u^4} - \frac{17 g^7 t^7}{315 u^6} + \dots$$

§. 222.

Wenn ein Körper von dem Gewichte $= P$ in der Luft mit der widerstehenden Fläche $= W$ niederfällt, so hört die Beschleunigung des Falles auf, und die Bewegung wird gleichförmig, wenn die Geschwindigkeit so groß wird, daß der bei derselben auf die Fläche W Statt findende Widerstand dem Gewichte P

wo nur das zweite Glied berücksichtigt zu werden braucht, wenn t nur einige Sekunden beträgt.

In einer Funktion der Endgeschwindigkeit u , ist

$$5) \quad s = \frac{u^2}{2g} \ln \cdot \frac{u^2}{u^2 - u_1^2}.$$

Die Zeit, in welcher die Geschwindigkeit u , erreicht wird, ist

$$6) \quad t = \frac{u}{2g} \ln \cdot \frac{u + u_1}{u - u_1}.$$

Hat der fallende Körper schon die Anfangsgeschwindigkeit $= v$, so wird

$$7) \quad u = u \frac{\left(1 + \frac{v}{u}\right) e^{\frac{gt}{u}} - \left(1 - \frac{v}{u}\right)}{\left(1 + \frac{v}{u}\right) e^{\frac{gt}{u}} + \left(1 - \frac{v}{u}\right)}.$$

Der Fallraum, an dessen Ende diese Geschwindigkeit u , erreicht wird, ist

$$8) \quad s = \frac{u^2}{2g} \ln \cdot \frac{u^2 - v^2}{u^2 - u_1^2},$$

und die dazu gehörige Zeit

$$9) \quad t = \frac{u}{2g} \ln \cdot \left(\frac{u + u_1}{u - u_1} \cdot \frac{u - v}{u + v} \right).$$

Bewegt sich der Körper aufwärts mit der Initialgeschwindigkeit u , so ist die größte Höhe, die er erreichen kann,

$$10) \quad h = \frac{u^2}{2g} \ln \cdot \frac{u^2 + u_1^2}{u^2},$$

und die dazu gehörige Zeit

$$11) \quad t = \frac{u}{g} \operatorname{arc} \operatorname{tang} \frac{u_1}{u}.$$

gleich wird, oder, wenn diese Geschwindigkeit durch u bezeichnet wird, wenn $P = \frac{\rho' n}{2g} u^2 W$. Diese Geschwindigkeit ist also die grösste, welche dieser Körper im Falle erreichen kann, und sie ist

$$42) \quad u = \sqrt{\frac{2gP}{\rho' n W}},$$

also auch

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{P}{\rho' n W} = s$$

die Höhe, welche zu dieser Geschwindigkeit gehört.

Sobald daher die Geschwindigkeit u nicht groß ist, tritt schon aus mäßigen Fallhöhen die gleichförmige Bewegung ein.

Z. B. ein senkrechter Zylinder, dessen Kreisfläche = 10 Q. Z., und das Gewicht = 6 Pf. falle in der Richtung seiner Axe, so ist

$s = \frac{P}{\rho' n W} = 969'24$, d. i. zu dieser Fallhöhe gehört die grösste Geschwindigkeit u , bei welcher die Beschleunigung aufhört.

Hätte der Zylinder eine Kreisfläche von 10 Q. F. und dasselbe Gewicht, so wird $\frac{P}{\rho' n W} = 8'472$, d. i. die erlangte Geschwindigkeit u gehört der Fallhöhe von 8'472.

Gesetzt, ein Fallschirm, dessen Gewicht sammt Belastung = 200 Pfund, soll mit einer Geschwindigkeit auf die Erde kommen, die der Höhe = 4' zugehört, als wenn nämlich Jemand von einer 4 Fuß hohen Bank herabspringt, so ist $\frac{P}{\rho' n W} = 4'$,

also $W = \frac{P}{4\rho' n} = 560.9$ Q. F., folglich der dazu nöthige Durchmesser des Fallschirmes = 26'73. Der Fallraum = s , am Ende dessen der Schirm in die Geschwindigkeit = u eintritt, seine vollkommene Ausspannung vorausgesetzt, ist nach 5) Anm. nahe 15 Fuß.

§. 223.

Wenn der Vogel mit Schnelligkeit niedersinkt oder niederstürzt, so geschieht es immer mit eingezogenen Flügeln, wo dann die widerstehende Fläche aus $w \sin \omega$ und aus der widerstehenden Fläche der Schranke besteht. Die letztere ist $= 0.4 q f'$ (§. 185) $= 0.2 f'$ (§. 193), oder da $f' = \frac{1}{3} b \lambda$ (§. 192), durch die Länge der Schranke und die Flügelbreite ausgedrückt $= \frac{1}{15} b \lambda$. Setzt man diesen Werth der widerstehenden Fläche für W in 42), so wird

$$43) \quad u = \sqrt{\frac{2 g P}{\rho' p (w \sin \omega + \frac{1}{15} b \lambda)}},$$

wodurch sich die größte Geschwindigkeit bestimmt, die der mit eingezogenen Flügeln niederstürzende Vogel bis zum Eintritte der gleichförmigen Bewegung erreichen kann, und die in den Formeln der Anmerkung für diesen Fall für u gesetzt werden muß.

Mit der am Ende dieses Falles erlangten Geschwindigkeit kann der Vogel vorwärts schießen, indem er durch Hebung des Schwanzes seiner Längsaxe die horizontale Richtung gibt, oder er kann, diese Axe aufwärts richtend, wieder in der krummen Linie aufwärts steigen. Diese Bewegungsart ist vorzüglich den Raubvögeln eigen, indem sie stoßen. Mit einer großen Geschwindigkeit an ihrem Raube anlangend, packen sie diesen mit den Krallen, und führen ihn mit erneuertem Flügelschlage nach der Höhe, durch die erworbene Geschwindigkeit unterstützt, die ihrer Bewegung für diesen Angriff ein bedeutendes Moment gibt. Denn ist die Höhe, welche er mit der erworbenen Geschwindigkeit und dem eigenen Gewichte P erreichen könnte, $= s'$ und s' , die Höhe mit dem Gewichte $r P$, so ist $s' P = s'' r P$, oder $s'' = \frac{s'}{r}$. Ergreift er also eine Last, seinem eigenen Gewichte gleich, so würde er mit dieser Last vermöge seiner erworbenen Geschwindigkeit auf $\frac{1}{2} s'$ steigen können, ohne neue Flügelschläge.

Mittelst dieses Stossens kann daher der Vogel Lasten erheben, die er ausserdem zu heben nicht im Stande wäre (§. 204). Ist dagegen mit der Steigung die durch den Fall erworbene Geschwindigkeit elidirt, und der Vogel dann auf die Kraft des Flügelschlages reduziert, so ist er seinen Raub, wenn er für diese Bewegung zu gross ist, nicht mehr zu erhalten im Stande, sondern gezwungen, ihn fallen zu lassen, was öfters bei grossen Raubvögeln bemerkt wird, obgleich diese Vögel einen Instinkt haben, in der Regel nur solche Lasten zu heben, die sie durch eigene Muskelkraft fortzuschaffen im Stande sind.

§. 224.

Um zur Berechnung dieser Bewegungen ein Beispiel zu geben, wählen wir den Taubenhabicht, für welchen $l = 18''$, $\lambda = 14'$, $b = 7\frac{1}{2}''$, $w = 15$ Q.Z., $P = 38\frac{1}{2}$ Loth. Nach diesen Werthen ergibt sich aus 43) $u = 93'83$, als die grösste Geschwindigkeit, mit welcher er in die gleichförmige Bewegung eintreten würde. Der Vogel kann senkrecht oder wie gewöhnlich unter irgend einem Winkel i niederstürzen; auf die der senkrechten Höhe zugehörige Geschwindigkeit hat die schiefe Neigung keinen Einfluss, nur auf die Zeit des Falles, da die beschleunigende Kraft sich wie $P \sin i$ verhält.

Gesetzt, der Vogel sinke aus einer Höhe nieder, aus welcher er die Endgeschwindigkeit $u, = 60'$ erhält; so beträgt für den obigen Werth von u (nach 5, der Anmerkung) diese Höhe $= 74\frac{1}{2}$ Fufs.

Mit dieser Geschwindigkeit kann er, wenn er durch Richtung des Schwanzes und unter denselben eingezogenen Flügeln wieder in die Höhe geht (nach 10, Anmerk.), wieder die Höhe $= 48'6$ erreichen, und dann in dieser Höhe mit erneuerten Flügelschlägen fortziehen oder ferner steigen und wieder niederstürzen u. s. w., wie diese Bewegungen den Jagdfalken gewöhnlich sind.

Ergreift der Vogel mit der erworbenen Geschwindigkeit $= 60'$ einen Raub, seinem eigenen Gewichte gleich, so kann er sich mit demselben ohne neue Flügelschläge wieder bis zur Höhe $= 24'3$ erheben.

Hat der Vogel im horizontalen Fluge bereits die Geschwindigkeit $= 30'$ erreicht, und er stürzt dann mit der vorigen Einziehung der Flügel nieder, so erreicht er (nach 8, Anmerk.) die Endgeschwindigkeit von $60'$ schon aus der Fallhöhe von $59\frac{1}{4}'$.

Übrigens hat es der Vogel in der Gewalt, die Schnelligkeit des Niedersinkens nach Belieben zu vermindern, indem er den Werth $= \frac{1}{15} b \lambda$ in der obigen Formel vergrößert, was dadurch geschieht, daß er bei eingezogener Schwinge den Vorder- und Oberarm etwas entfernt oder ausstreckt, wodurch ein größerer Theil des Windfanges oder der Schranke nach vorwärts widersteht. Dieses geschieht gewöhnlich gegen Ende des Falles, wenn ihm die Geschwindigkeit zu groß wird, wo er dann mit einem rauschenden Getöse unten ankommt.

§. 225.

Wenn der Vogel im horizontalen Zuge vermöge seiner Flügelschläge eine gewisse Geschwindigkeit erreicht hat, und er will eine Ruhezeit für seine Flugmuskeln gewinnen, oder wenn er aus der Höhe langsam niedersinkt, so fängt er an zu schweben, d. i. er hält in horizontaler oder etwas geneigter Lage seiner Längsaxe seine Flügel ausgespannt, mit gänzlich entfaltetem Schwanze, indem er dabei niedersinkt und zugleich vorwärts geht. Würde er keine andere Geschwindigkeit erhalten, als die durch den Flug erworbene $= v$, so würde sein Weg durch eine Parabel bezeichnet, deren Parameter $= \frac{2v^2}{g'}$, wenn g , die beschleunigende Kraft ausdrückt. Allein in dem Maße, als er niedersinkt, wird durch die aus dieser senkrechten Bewegung entspringende Geschwindig-

keit ein Widerstand der Luft auf die vorwärts treibenden Organe seiner Flügel, nämlich die Ruderfedern und die Schranke, erzeugt, wodurch der Vogel auf ähnliche Art, wie beim Flügelschlage, vorwärts getrieben wird. Es ist hier der ähnliche Fall vorhanden, als wenn man eine Ebene $= w$, in deren Mittelpunkt ein an dem unteren Ende mit einem Gewichte versehener Stiel befestiget ist, der mit der Ebene selbst einen Winkel $= \alpha$ macht, fallen läßt. Dieser Apparat fällt natürlich nicht senkrecht, sondern in einer schiefen Linie, weil die in jedem Augenblicke des Falles erzeugte Geschwindigkeit v , demselben in horizontaler Richtung einen Impuls $= v,^2 w \cos^2 \alpha \sin \alpha$ ertheilt. Das Schweben besteht also aus zwei Bewegungen, der senkrechten und der horizontalen, von denen die erstere, abgesehen von der durch den Flug selbst erworbenen Geschwindigkeit v , die letztere hervorbringt.

§. 226.

Bezeichnet nun u die Geschwindigkeit, bei welcher das Gewicht des Vogels dem mit seiner horizontalen Unterfläche im senkrechten Falle erzeugten Widerstande gleich ist, so ist

$$u = \sqrt{\frac{2gP}{\rho, v W}},$$

wo W , die gesammte Unterfläche, nämlich des Leibes, des ausgebreiteten Schwanzes und der ausgebreiteten Flügel begreift.

Für den Adler z. B. beträgt diese Unterfläche mit ausgebreiteten Flügeln und entfaltetem Schwanze $= 1044$ Q. Z., wovon die ausgebreitete Schwanzfläche 180 Q. Z. einnimmt, folglich

$$W, = \frac{1044}{144} \text{ Q. F, } P = 6 \text{ Pf.; sonach ist } u = 24', \text{ oder mit}$$

dieser größten Geschwindigkeit tritt er im senkrechten Falle der horizontalen Fläche in die gleichförmige Bewegung ein. Diese Geschwindigkeit wird (nach 5, Anmerkung) in dem Fallraume $= 29\frac{1}{2}' = s$, erreicht, während die zu u gehörige Fallhöhe

$s = \frac{P}{\rho' p W} = 9'284$ ist. Da nun für gleiche Endgeschwindigkeit die Beschleunigungen sich verkehrt wie die Fallhöhen verhalten, so ist $g_1 = g \frac{s}{s_1} = 9'766$. Tritt nun der Vogel in das Schweben mit der Geschwindigkeit $v = 60'$ ein, so ist sonach der horizontale Weg, den er vermöge dieser Geschwindigkeit während des Falles durch die Höhe s , zurücklegen würde

$$= v \sqrt{\frac{2s_1}{g_1}} = 147'4;$$

wobei auf den Widerstand der Vorderfläche, wodurch die Bewegung verzögert wird, nicht Rücksicht genommen ist. Diese Verzögerung wird jedoch, wenigstens zum Theil, aufgehoben durch die während des Sinkens, wie vorher erwähnt, hervorgebrachte neue horizontale Geschwindigkeit. Man sieht hieraus, wie der Vogel, wenn er im Fluge eine gewisse Geschwindigkeit erreicht hat, vermöge eben dieser schwebend eine bedeutende Strecke zurücklegen kann, deren Länge von der Geschwindigkeit v und von dem Werthe von $\frac{s_1}{g_1}$ abhängt, der um so größer wird, je größer

s_1 gegen $s = \frac{P}{\rho' p W}$, oder je größer W gegen P ist. Zum Schweben gehört daher eine im Verhältniß zum Gewichte bedeutend große Unterfläche, die hauptsächlich durch die Flügelfläche und durch einen langen und breit zu entfaltenden Schwanz gebildet wird.

Am Ende dieses Weges tritt der Vogel in die größte Geschwindigkeit $= u$ ein, die er durch Aufwärtsrichtung seiner Längsaxe wieder zur schwebenden Hebung verwenden kann, so wie er auch noch während dieses Weges durch dieselbe Richtung horizontal ziehen kann, jedoch mit Verkürzung des Weges selbst, da ein Theil der horizontalen Geschwindigkeit für die Hebung verwendet wird. Es ergibt sich hieraus, dafs, wenn der Vogel im

Schweben sich beiläufig in gleicher Höhe erhalten will, er im Sinken den Fallraum s , nicht überschreiten dürfe, weil dann die Geschwindigkeit u nicht mehr wächst, er folglich um so weniger ohne neue Flügelschläge die vorige Höhe zu erreichen im Stande wäre, je tiefer er unter s , herabgegangen ist.

§. 227.

Wenn der Vogel, ohne weiter zu steigen, schwebend abwärts geht, so kann es entweder so geschehen, daß er die horizontale Lage seiner Unterfläche beibehält; in diesem Falle sinkt er mit der gleichförmigen Geschwindigkeit $= u$, während er, eben durch diesen Fall, eine horizontale Geschwindigkeit $= v$, durch den Impuls auf die Schranke und die Ruderfedern erhält: oder er geht unter einem kleinen Winkel $= i$ geneigt abwärts. Betrachten wir den letzten allgemeineren Fall, und gehen von dem Punkte aus, wo der Vogel bereits in die gleichförmige Geschwindigkeit eingetreten ist, so ist

$$44) \quad u = \sqrt{2g \frac{P}{\rho' n W \cos i}}.$$

Da der Flügel steif ausgespannt ist, folglich der Luftdruck auf denselben in allen Punkten gleich wirkt, so kommt hier der Einfluß des Widerstandspunktes nicht zu berücksichtigen, sondern es ist der Impuls oder Widerstand auf den Flügel zur Vorwärtsbewegung

$$= \frac{\rho' n}{2g} u^2 (W \sin i + f \sin \beta + f'),$$

wo hier immer der Koeffizient $= \rho'$ genommen werden muß, da keine Winkelbewegung vorhanden ist. Diese Kraft beschleunigt die horizontale Bewegung, bis sie für die Geschwindigkeit $= v$, dem vorderen Widerstande gleich wird; letzterer ist

$$= \frac{\rho' n}{2g} (w \sin \omega + \frac{2}{15} b \lambda),$$

wo $\frac{2}{15} b \lambda = 0.4 f'$ die vordere Widerstandsfläche des ausge-

streckten Flügels, nach §. 185 ausdrückt. Demnach ist

$$45) \quad v, = u \sqrt{\frac{W \sin i + f \sin \beta + f,}{w \sin \omega + \frac{2}{15} b \lambda}}.$$

Für die horizontale Schwebung wird $i = 0$.

§. 228.

Nimmt man die Rechnung für den Adler, so ist nach den schon früher gegebenen Bestimmungen für $i = 10^\circ$

$$u = 24'18 \quad \text{und} \quad v, = 54'61.$$

Indem also der Vogel unter jenem Winkel schwebend niedersinkt, so geht er, wenn seine Richtung eine gerade ist, ohne Flügelschlag mit der horizontalen Geschwindigkeit $= 54'61$ in einer Sekunde, während er mit $24'18$ Geschwindigkeit gleichförmig niedersinkt. Würde sein Schweben horizontal seyn (wie in §. 226), wo $w \sin i = 0$, so wäre seine Geschwindigkeit $v, = 37,7$ und seine Fallgeschwindigkeit $= 24'$. Geschieht dieses schwebende Niedersinken in Bogen- oder Schneckenlinien, so bewegt der Vogel nur von Zeit zu Zeit sehr wenig den äußeren Flügel, um die bogenförmige Richtung zu erhalten. Eine Vergrößerung des Winkels i vermehrt die Geschwindigkeit $v,$ bedeutend, sowohl durch die Vergrößerung von u , als von $W \sin i$. Für $i = 15^\circ$ wird

$$u = 24'42 \quad \text{und} \quad v, = 64'63.$$

Durch dieses schwebende Niedersinken vermag also der Vogel eine bedeutende Geschwindigkeit zu erlangen, ohne sich durch Flügelschläge anzustrengen, eine Geschwindigkeit, die der Raubvogel ebenfalls zum Stossen benützt (§. 223). Diese Geschwindigkeit ist aus der horizontalen $= v,$ und der durch den Fall erlangten $= u$ zusammengesetzt. Mit derselben $= \sqrt{v,^2 + u^2} = 59'7$ (für $i = 10^\circ$) kann der Vogel mittelst der Wirkung des Schwanzes sich wieder schwebend in schiefer Linie in die Höhe heben oder auch horizontal fortgehen. Der Vogel hat durch diese schwebende Bewegung ein Mittel, aus einer bedeutenden Höhe, in der

er sich befindet, in gerader Richtung ohne Flügelschlag einen bedeutenden Weg zurück zu legen, indem er sich dem Boden nähert. Befindet sich z. B. der Adler in einer Höhe von 3000', und er sinkt in gerader Richtung unter der Neigung seiner Unterfläche von 10° schwebend nieder, so erreicht er den Boden nach dem horizontalen Wege von 6775' oder aus der Entfernung von 7410' und zwar in der Zeit von 2 Minuten 4 Sekunden. Daher sieht man öfters solche Vögel aus einer Entfernung, in der sie dem Auge entschwinden, in kurzer Zeit an einem Gegenstande ankommen, den ihr scharfer Blick entdeckt hat, z. B. Falken an einem eben aufgestellten Uhu, von denen man vorher weit und breit nichts wahrnehmen konnte.

Zehntes Kapitel.

Vom Einflusse der Windströmung.

§. 229.

Wenn eine Windströmung mit der Geschwindigkeit $= v$, gegen die geneigte Unterfläche des Vogels wirkt, so wird durch dieselbe ein Theil seines Gewichtes getragen, und zwar ist, wenn dieser Gewichtstheil durch P , bezeichnet wird,

$$46) \quad P = \rho' p \frac{v^2}{2g} w \sin^2 i \cos i,$$

wo i den Neigungswinkel mit der horizontalen bezeichnet.

Wenn sich daher der Vogel von der Erde erhebt, so wird ihm diese Hebung bedeutend erleichtert, indem er seinen Flug unter dem Winkel i gegen den Wind richtet, und dabei zur Vergrößerung seiner Unterfläche seinen Schwanz ausbreitet. Bei der Krähe z. B. beträgt die untere Fläche des Leibes $= 31$ Q. Z., die Fläche des ausgebreiteten Schwanzes $= 49$ Q. Z., die ganze Flü-

gelfläche $= 192 \text{ Q. Z.}$; nimmt man von letzterer während des Flügelschlages für die geneigte Unterfläche $= 120 \text{ Q. Z.}$; so ist die der Windströmung unter einem Winkel entgegen stehende Unterfläche $= 200 \text{ Q. Z.} = 1.388 \text{ Q. F.} = w$. Nimmt man eine mäßige Windströmung von $25' = v$, und den Winkel i bei der Hebung $= 30^\circ$, so wird $P_1 = 8.68 \text{ Loth} = 0.29 P$, da das Gewicht der Krähe $= 30 \text{ Loth}$. Vermöge dieser Erleichterung wird nun bei demselben Flügelschlage die Hebung des Vogels bedeutend gröfser, wie sich aus der Formel für h_0 24) von selbst ergibt. Unter demselben Winkel wird bei der Geschwindigkeit des Windes von $46' 46$ das ganze Gewicht $= P$ getragen oder gehoben. Dabei wird der Vogel durch die Strömung mit der Geschwindigkeit $= v, \sin^2 i$ rückwärts geschoben; er braucht also nur die Flügelschläge anzuwenden, um die Geschwindigkeit vorwärts $= v, \sin^2 i$ zu erhalten, in dem letzten Falle also von $= 11' 35$, um unter dem Winkel $i = 30^\circ$ zu steigen.

Da der Ausdruck $\sin^2 i \cos i$ ein Maximum hat für den Winkel $i = 54^\circ 44'$, so ist in dem ersten Augenblicke, als der Vogel sich heben will, diese Stellung seiner Unterfläche gegen die Windströmung die vortheilhafteste. Bei derselben würde diese Strömung nur $20'$ Geschwindigkeit zu haben brauchen, um, bei den vorigen Werthen, das ganze Gewicht des Vogels zu tragen, so dafs dieser zum ersten Aufsteigen nur geringer Kraftanstrengung bedarf. Wenn die Vögel im Freien aufsteigen, benützen sie daher jederzeit die entgegengesetzte Windströmung, wenn sie auch nur schwach ist und selbst nicht in der Richtung liegt, die sie gerade nehmen wollen. Aus demselben Grunde setzen sich gewisse Vögel, z. B. die Trappen, bei ruhiger Luft oder einem schwachen Windstrome entgegen erst in den Lauf, ehe sie aufsteigen, wodurch sie nicht nur ihre Hebung erleichtern, sondern auch bereits mit der erlangten Geschwindigkeit in den Flug eintreten.

§. 230.

So günstig daher dem Vogel ein entgegen strömender Wind für seine Steigung wirkt, indem derselbe zur Verminderung seines Gewichtes eben so wirkt, als wenn der Vogel, abgesehen von der Hebung, durch eigene Flügelschläge die horizontale Geschwindigkeit $= v$, unter dem Winkel i hervorgebracht hätte (§. 212); so ist jedoch für den horizontalen Zug diese Gegenströmung um so mehr ein Hindernis, je größer der Neigungswinkel i wäre. In diesem Falle muß daher der Vogel in vollkommen horizontaler Lage mit seiner durch den Flügelschlag gegen die Strömung erworbenen Geschwindigkeit, d. i. mit $v - v$, gegen den Wind gehen. Für $v = v$, bleibt der Vogel für kurze Zeit stehen, wie man das in solchen Fällen öfters bemerken kann. In der Regel ist der Vogel gegen den Wind zu gehen, auch darum geneigt, weil sein Flug durch den Wind, wenn er ihn im Rücken hat, erschwert wird, indem er seine Federn aufsträubt, was ihm besonders hinderlich und unangenehm ist, so daß, wenn er nicht gegen den Wind gehen kann, er lieber eine Seitenrichtung einschlägt, als mit dem Winde zu gehen.

§. 231.

Der Hauptvorteil, den der Vogel aus der Windströmung zieht, besteht daher in der Erleichterung seiner Hebung, die er dann auch zur relativen Vergrößerung seiner horizontalen Geschwindigkeit benutzen kann. Zieht er nämlich gegen einen frischen Wind, so gibt er durch momentane Hebung des Schwanzes seiner Längsaxe eine Richtung aufwärts, steigt durch die aus der Windströmung und seiner eigenen Geschwindigkeit zusammengesetzte Bewegung unter dem Winkel i aufwärts, schießt dann mit eingezogenen Schwingen vorwärts und abwärts, wodurch er eine Geschwindigkeit erreicht, die jene des Windes mehr oder weniger übertrifft (§. 223), hebt sich mittelst dieser Geschwindigkeit,

der Windströmung und seiner Flügelschläge neuerdings, indem er so seinen Weg in einer Wellenlinie fortsetzt, in deren horizontaler Projektion eine grössere Geschwindigkeit Statt findet, als sie der Vogel mit denselben Flügelschlägen in ruhiger Luft erlangen könnte. Zu diesen Bewegungen sind besonders Schnellflügler geeignet, weil sie durch ihren schnelleren Flügelschlag ihre Bewegungen schneller und sicherer zu leiten im Stande sind, und die Ruderflügler um so weniger, je mehr ihr Flügelbau dem Schweben günstig ist. Die letzteren vermeiden daher das Ziehen gegen eine starke Windströmung; sie erheben sich vielmehr, wenn sie vorwärts wollen, eben unter Begünstigung der entgegengesetzten Windströmung, zu einer grossen Höhe, wo sie entweder eine ruhigere Luft finden, in der ihre Geschwindigkeit für gleiche Kraftanstrengung die grösste ist, oder wo eine entgegengesetzte Windströmung sie in ihrem horizontalen Zuge weniger aufhält, da die hindernde oder verzögernde Kraft dieser Strömung im Verhältnisse mit der Luftverdünnung abnimmt.

Ein Beispiel für die Wirkung der Windströmung zur Hebung ist das bekannte Spielzeug des fliegenden Drachen. Seine Fläche sey $= 10 \text{ Q. F.} = W$, $P = 2 \text{ Pfund}$, so ist nach 46) die Windströmung, um diese Fläche unter dem Winkel $i = 30^\circ$ schwebend zu erhalten $= 25'35 = v$; für $i = 15^\circ$ ist eine Windströmung $= 46'38$ erforderlich; wenn dabei die Fläche an einer an dem Vorderende befestigten Schnur gehalten wird. Der horizontale Zug an dieser Schnur nach rückwärts ist $= \frac{\rho' n}{2g} w v^2 \sin^3 i$
 $= 0.536 \text{ Pf.}$ für $i = 15^\circ$ und $= 1.154 \text{ Pf.}$ für $i = 30^\circ$. Dabei ist vorausgesetzt, daß der Widerstandspunkt der Fläche in den Schwerpunkt falle, was bei der gewöhnlichen Form des Apparates nahe eintritt. Ist dieses nicht der Fall, so ändert sich P in $P \frac{m}{l}$, wenn $l =$ die Entfernung des befestigten Punktes vom Wi-

standspunkte und m gleich die Entfernung desselben Punktes vom Schwerpunkte, oder der Winkel i wird unter gleichen Umständen um so kleiner, je mehr der Schwerpunkt nach vorn und der Widerstandspunkt nach rückwärts liegt.

Eilftes Kapitel.

Vom Fluge in der Höhe.

§. 232.

In der Formel 20) §. 167

$$Ph = \frac{2^2}{g} p F k^3 n^2 (1 + x)^2 x (\varphi + \psi),$$

welche die Wirkung eines Niederschlages des Flügels zur Hebung ausdrückt, bezeichnete in den bisherigen Rechnungen p das Gewicht eines K. F. Luft bei mittlerem Barometer- und Thermometerstande. Mit der Änderung dieses Werthes ändert sich also Ph bei gleichen übrigen Werthen, oder bei demselben Ph ändern sich die übrigen Gröfsen. Behalten daher n , x und m , desgleichen Ph die Werthe, die ihnen für einen bestimmten Flügelschlag zukommen, und es nimmt der Werth von p zu, so mufs der Werth von Fk^3 , welcher von der Flügelgröfse abhängt, entsprechend abnehmen. Da $F = \frac{2}{3} b l$, $k = \frac{1}{2} l$, und näherungsweise $b = \frac{1}{3} l$, so kann man $Fk^3 = \frac{1}{36} l^5$ setzen, so dafs, wenn l , dem Werthe von p , zugehört, sich verhält: $p : p' = l^5 : l'^5$, sonach

$$47) \quad l' = l \sqrt[5]{\frac{p}{p'}}.$$

Gesetzt, die mittlere Luftdichtigkeit in der unteren Region sey doppelt so grofs als gegenwärtig, so ist $\frac{p}{p'} = \frac{1}{2}$, folglich für $l = 1$, $l' = \sqrt[5]{\frac{1}{2}} = 0.8705$, d. i. die Flügellänge ist für dieselbe Wirkung des Flügelschlages in dem Verhältnisse von 100 : 87 kürzer.

Geschieht der Niederschlag im Wasser, so wird $\frac{p}{p'} = \frac{1}{800}$, folglich $l = 0.2626$, oder die Flügellänge verkürzt sich für dieselbe mechanische Wirkung auf etwa $\frac{1}{4}$. Nimmt man z. B. einen Fisch, dessen Übergewicht über das Gewicht des verdrängten Wassers = 1 Pfund beträgt, wie nahe das Gewicht der Krähe in der Luft; so beträgt, mit letzterer verglichen, die Länge seiner, den Flügel vertretenden, Flosse $= 17.5 \times 0.2626 = 4.59$ Zoll, wobei in beiden Fällen die mechanische Wirkung und der ihr entsprechende Kraftaufwand dieselben bleiben. Man sieht hieraus, daß die Ansicht, daß die Hebung des Vogels in einem so dünnen Mittel, wie die Luft, einen außerordentlichen Kraftaufwand erfordere, auf einer Täuschung beruhe.

§. 233.

Wenn der Vogel in bedeutender Höhe, wo die Luftdichtigkeit schon merklich vermindert ist, seinen Flug fortsetzt, so vermindert sich mit dieser Dichtigkeit bei demselben Flügelschlage, d. i. bei demselben Werthe von n , m und x , auch das Moment oder die Wirkung desselben, und für den Fall oder die Voraussetzung, daß dieses Moment dasselbe, folglich auch der dazu nöthige Kraftaufwand derselbe bleiben soll, muß daher der Werth einer oder mehrerer jener Größen sich im entsprechenden Verhältnisse vergrößern. In der obigen Formel 20) sind für denselben Vogel außer $\frac{2\rho}{g}$, F und k^3 konstant, folglich muß sich für dasselbe Ph mit der Verminderung von p , n^2 , $(1 + x)^2$ oder $\alpha(\varphi + \psi)$ vergrößern.

Ist nun die Dichtigkeit der Luft in der unteren Region bei 28" B. = 1, in der oberen = δ ; so verhält sich $p : p' = 1 : \delta$, oder es ist $p' = p\delta$. Werden daher die Werthe von n , $\alpha(\varphi + \psi)$ und x , welche für die untere Region gelten, für die höhere Region mit n_1 , $\alpha_1(\varphi_1 + \psi_1)$ und x_1 bezeichnet, so ist, unter der

Voraussetzung, daß dasselbe Kraftmoment Statt finde,

$$\frac{n^2}{n_1^2} \cdot \frac{(1+x)^2}{(1+x_1)^2} \cdot \frac{z(\varphi+\psi)}{z_1(\varphi_1+\psi_1)} = \delta.$$

Soll sich die Änderung nur auf den einen der drei Werthe beziehen, während die beiden übrigen als konstant angesehen werden, so ist

$$48) \quad \delta = \frac{n^2}{n_1^2} = \frac{(1+x)^2}{(1+x_1)^2} = \frac{z(\varphi+\psi)}{z_1(\varphi_1+\psi_1)},$$

d. i. für dasselbe Moment des Flügelschlages in der höheren Region bei der Luftdichtigkeit $= \delta$ wird

$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{\delta}},$$

wenn $\varphi + \psi$ und x ihren Werth behalten;

$$1+x_1 = \frac{1+x}{\sqrt{\delta}}$$

für dasselbe n und $\varphi + \psi$;

$$z_1(\varphi_1+\psi_1) = \frac{z(\varphi+\psi)}{\delta}$$

für dasselbe x und n .

Da δ kleiner ist als 1, folglich (n_1) $(1+x_1)$ $[z_1(\varphi_1+\psi_1)]$ größer als die ähnlichen Werthe in der unteren Region, die wirkende Geschwindigkeit des Flügelschlages aber nach §. 167 durch $C = 2k(\varphi+\psi)n(1+x)$ gegeben ist, und von dieser Geschwindigkeit nach 35) die Bewegungsgeschwindigkeit des Vogels $= v$ abhängt: so folgt, daß für denselben Kraftaufwand im Flügelschlage die Geschwindigkeit des Vogels in der Höhe größer werde, als in der unteren Region, wozu übrigens, wie schon §. 179 bemerkt worden, der in der dünneren Luft verminderte Widerstand auf die vorwärts widerstehende Fläche des Vogels nichts beiträgt.

§. 234.

Wenden wir diese Bestimmungen auf den Adler an, und setzen denselben in eine Höhe von $1000^0 = 6000'$. Bezeichnet

nun H , diese Höhe, in welcher der Flug vor sich geht, in W.K., so ist, wenn man der Einfachheit wegen die Temperaturdifferenz vernachlässigt,

$$\log \frac{1}{\delta} = \frac{H}{9664}.$$

Für die Höhe von 1000^0 wird also $\delta = 0.7880$. Nimmt man nun den Flügelschlag in der unteren Region für $n = 2$, $m = 90$, $x = \frac{1}{3}$, bei welchem $v = 41'83$ wird (§. 202), so wird, wenn sich im Flügelschlage oben blofs x ändert,

$$1 + x, = \frac{1 + x}{\sqrt{\delta}} = 1.502,$$

folglich $x = \frac{1}{3}$. Mit diesem Werthe von x und n und m ungeändert, erfolgt also der Flügelschlag mit demselben Kraftmomente. Für diesen Werth von x wird die Geschwindigkeit $v = 48'$.

Ändert sich blofs der Schlagwinkel, so wird

$$(x, (\varphi, + \psi)) = 2.1572,$$

welcher Werth (§. 172) einem Schlagwinkel von nahe 98^0 zugehört. Die hierzu gehörige Geschwindigkeit ist $v = 45'65$.

Ändert sich die Zahl der Flügelschläge, so wird

$$n, = \frac{n}{\sqrt{\delta}} = 2.253.$$

und die Geschwindigkeit $v = 49'27$.

Übrigens kann auch der Fall Statt finden, und findet wohl häufig Statt, dafs die Änderung der drei Faktoren x , m , n oder zweier aus denselben zugleich vorhanden ist. Zu bemerken ist jedoch, dafs, wenn eine Vergrößerung von x Statt findet, der Schlagwinkel nicht viel vergrößert werden kann, eben so wenig bei der Vergrößerung von n , so dafs bei den vielen Variationen, die hier möglich sind, das Resultat immer mit jenen der erwähnten drei speziellen Fälle nahe zusammen fällt.

In allen Fällen wird daher in der gröfseren Höhe bei demselben Momente des Flügelschlages die Geschwindigkeit vorwärts be-

deutend gröfser, und zwar am gröfsten bei der Änderung der Zahl der Flügelschläge, hiernach für die Vergrößerung von x , weniger bei der Vergrößerung des Schlagwinkels. Indem daher die grofsen Vögel in bedeutender Höhe ihren Weg zurücklegen, gewinnen sie aufer dem §. 231 erwähnten Vortheile, dafs sie bei entgegengesetzter Windströmung weniger aufgehalten werden, eine gröfsere Geschwindigkeit bei gleicher Kraftanstrengung, oder bei geringerem Kraftaufwande dieselbe Geschwindigkeit wie unten. Diese Vögel erheben sich daher jederzeit, wenn sie eine Reise zu machen haben, so hoch in die Luft, als es den Verhältnissen ihrer Flugwerkzeuge angemessen ist.

§. 235.

Die Grenze dieser Höhengewinnung, bei welcher für sie noch der erwähnte Vortheil Statt findet, ist durch die Grenze der drei Faktoren des Flügelschlages x , n und m bedingt. Bei Vögeln, bei welchen diese Werthe ohne ungewöhnlichen Kraftaufwand keine bedeutenden Variationen zulassen, ist daher auch die Höhe, in welcher sie mit Vortheil ihren Flug verfolgen können, mehr oder minder beschränkt. Dieses ist der Fall bei allen verhältnifsmäfsig kürzeren Flügeln, folglich bei allen kleinen Vögeln. Diese Vögel haben im gewöhnlichen Fluge in der unteren Region jene Faktoren des Flügelschlages schon nahe in ihren gröfsten Werthen. Dieses ist selbst bei gröfseren Vögeln mit kürzeren Flügeln, wie der Krähe und der Taube der Fall, obgleich beide im Übrigen zu den besten Fliegern gehören. Zum Hochfliegen gehören lange, verhältnifsmäfsig breite Flügel, mit denen der Vogel in der unteren Region schon keinen grofsen Schlagwinkel und keine schnellen Flügelschläge bei gewöhnlicher Kraftanstrengung zu machen braucht. Dafs übrigens die in einer grofsen Höhe verdünnte Luft für den Vogel in seinem Respirationsprozesse kein Hindernifs sey, ist schon früher (§. 84) nachgewiesen worden.

Wenn man nach dem Vorigen bestimmen wollte, in welcher Höhe der Adler seinen Flug mit Vortheil fortsetzen könnte, folglich zu welcher Höhe er sich auch nach Umständen würde erheben können, so kann man, wenn man wie vorher von dem Flügelschlage in der unteren Region für $n = 2$, $m = 90^\circ$ und $x = \frac{1}{3}$ ausgeht, annehmen, daß die Zahl seiner Flügelschläge in der Höhe ohne größere Anstrengung sich auf $n = 2\frac{1}{2}$ vermehren könne, welche Zahl in der unteren Region für ihn eine mittlere Kraftanstrengung ist. Für diesen Fall wird $\delta = \frac{n^2}{n'} = 0.640$, folglich $\frac{H'}{9664} = 0.19382$, daher $H' = 1873^\circ$. In dieser Höhe wäre seine Geschwindigkeit $v = 56'67$. Nimmt man an, daß in der dünneren Luft ohne Erhöhung des Kraftmomentes sein Schlagwinkel sich bis zu 110° , bei $n = 2$, $x = \frac{1}{3}$ vermehren könne, so wird $\delta = \frac{z(\varphi + \psi)}{z, (\varphi, + \psi,)} = 0.5822$, folglich $H' = 2270^\circ$. Dazu gehört die Geschwindigkeit $v = 51'34$.

Betrachtet man die Verhältnisse dieser Geschwindigkeiten in diesen verschiedenen Höhen, so ist, wie auch schon aus der Beschaffenheit der Formeln hervorgeht, ersichtlich, daß diese Geschwindigkeiten mit der größeren Höhe nur in einem geringen Verhältnisse zunehmen. In der Absicht also oder dem Instinkte, eine größere Geschwindigkeit oder dieselbe Geschwindigkeit mit geringerem Kraftaufwande zu erreichen, wird der Vogel nur solche Höhen erstreben, bei welchen für ihn im Verhältniß zu der für die Hebung selbst erforderlichen Anstrengung dieser Gewinn am größten wird, die größten Höhen aber, die er innerhalb der Variationsgrenze seines Flügelschlages, besonders des Werthes von n , erreichen kann, in der Regel nur ersteigen, um eine Übersicht seines Jagdreviers zu gewinnen.

Die Natur hat daher die Flugwerkzeuge der Vögel so eingerichtet, wie sie ihren Nahrungsverhältnissen entsprechen. Ihr Flug begrenzt sich mit einer Höhe, in deren Bereich ihre Nahrung liegt. Die Insekten fressenden Vögel übersteigen ihrer Organisation nach die Höhe nicht, die diese Thiere erreichen, während der Kondor bis zu den höchsten Spitzen der Anden schwebt, um in einem ungeheuren Kreise das Aas zu erspähen, das ihm zur Nahrung dient.

Zwölftes Kapitel.

Von der Muskelkraft im Fluge.

§. 236.

Die mechanische Wirkung, folglich der ihr proportionale Kraftaufwand für einen Niederschlag der Flügel für den Nutzeffekt der Hebung ist durch die Formel für $P h$ 20) gegeben. Multipliziert man $P h$ mit der Zahl der Flügelschläge in einer Sekunde; so ergibt sich das mechanische Moment der Kraft $= P H$ (21), d. i. das Gewicht P in Pfunden auf die Höhe H in Füssen in einer Sekunde gehoben. Dieses Moment ist für die Normalwirkung, wo also der Vogel mit der geringsten Geschwindigkeit horizontal fortzieht und weder sinkt noch steigt (§. 169), oder überhaupt für den Fall, wo $h_0 = 0$ oder $h = h$, wird (§. 170),

$$= P h, \times n = \frac{P g}{2 u} \left(\frac{x}{1 + x} \right)^2.$$

Für den Adler ergeben sich hiernach für die verschiedenen, bereits in §. 202 angegebenen, Flügelschläge folgende Werthe des Kraftmomentes $= P H$, welchen zur leichteren Übersicht noch in der dritten und vierten Kolumne die effektive Hebung in einer Sekunde und die Geschwindigkeit beigesetzt sind. Nämlich:

	PH	Effektive Hebung.	Geschwin- digkeit = v .
a) Für die Normalwir- kung . . .	3.972 $\bar{u}$.	0	32' 83
b) „ $n = 2$. . .	5.881 „	0' 495	41' 83
$m = 90^\circ$. . .			
$x = \frac{1}{3}$. . .			
c) „ $n = 2$. . .	7.838 „	0' 822	46' 59
$m = 100^\circ$. . .			
$x = \frac{1}{2}$. . .			
d) „ $n = 2\frac{1}{2}$. . .	11.487 „	1' 526	56' 67
$m = 90^\circ$. . .			
$x = \frac{1}{3}$. . .			
e) „ $n = 2\frac{1}{2}$. . .	15.310 „	2' 164	62' 97
$m = 100^\circ$. . .			
$x = \frac{1}{3}$. . .			
f) „ $n = 3$. . .	19.845 „	2' 985	72' 21
$m = 90^\circ$. . .			
$x = \frac{1}{3}$. . .			
g) „ $n = 2\frac{1}{2}$. . .	14.547 „	1' 735	64' 81
$m = 90^\circ$. . .			
$x = \frac{1}{2}$. . .			
h) „ $n = 2\frac{1}{2}$. . .	16.960 „	1' 040	74' 54
$m = 75^\circ$. . .			
$x = 1$. . .			
i) „ $n = 2.1988$. . .	10.580 „	0	62' 85
$m = 75^\circ$. . .			
$x = 1$. . .			

Mit der Zunahme von x vermehrt sich also die Geschwindigkeit v mit Gewinn am Kraftmomente gegen den Fall, als dieselbe

Geschwindigkeit durch ein größeres n oder m erreicht werden sollte, wie der Fall g) gegen e) und jener i) gegen e) zeigt; beim letzteren ist die Geschwindigkeit dieselbe, aber das Kraftmoment von e um die Hälfte größer als jenes von i . Dabei wird jedoch die effektive Hebung geringer, und für einen gewissen Werth von n und x kann daher gar keine Hebung Statt finden, wie in dem Falle i , wo der Vogel eine große Geschwindigkeit erreicht, ohne daß dabei eine Steigung vorhanden ist (§. 202).

Daher muß der Vogel, wenn er hauptsächlich seine Geschwindigkeit vergrößern will, ein größeres x , und wenn es sich mehr um die Steigung handelt, ein größeres n und m bei dem kleinsten Werthe von x für die geringste Kraftanstrengung wählen.

In dem Falle f), welcher der größten Kraftanstrengung zugehört, mit der auch die größte Steigung verbunden ist, die der Vogel übrigens nur für kurze Zeit für die erste Hebung aufwendet, würde der Adler nahe an $\frac{1}{3}$ einer Manneskraft gebrauchen. Daß übrigens ein Vogel, der 6 Pfund wiegt, einer solchen Anstrengung fähig sey, darüber darf man sich nicht wundern, da es überhaupt in der Wirkungsart der Muskeln liegt, für kurze Zeit eine außerordentliche Anstrengung zu machen. Ein Mann z. B., der 150 Pfund wiegt, kann mit Anstrengung in 3 Sekunden eine Treppe hinauflaufen, deren senkrechte Höhe 15' beträgt. Diese Kraftanstrengung entspricht beiläufig einer zweifachen Pferdeskraft oder der zwölffachen der gewöhnlichen Kraftäußerung eines Menschen. Bei der Normalwirkung des Vogels findet die geringste Kraftanstrengung Statt; es ist diese Wirkung mit dem gewöhnlichen Gange eines Menschen auf einer Horizontalebene zu vergleichen.

Die vorstehenden Werthe von PH bezeichnen das Kraftmoment für den Nutzeffekt der Hebung. Beim Niederschlage des Flügels wirkt aber ein Theil des Widerstandes, indem er für die

Hebung selbst verloren geht, nach aufsen zur Entfaltung des Flügels (§. 165). Die Gesamtwirkung oder der ganze Kraftaufwand im Niederschlage besteht also aus der Summe beider Wirkungen. Wird der Werth von Ph (20) durch $A \varkappa$, und jener der Seitenwirkung durch $A \varkappa'$ bezeichnet, so ist demnach die ganze Wirkung $= A (\varkappa + \varkappa')$.

Die Seitenwirkung nach aufsen ist

$$\begin{aligned} &= A \int_{-\varphi}^{+\psi} (\varphi - \alpha) \sin^2 \alpha \, d\alpha \\ &= A \left[\frac{1}{4} (\varphi + \psi)^2 - \frac{1}{4} (\sin^2 \varphi - \sin^2 \psi) - \frac{1}{2} (\varphi + \psi) \sin \psi \cos \psi \right] \\ &= A \varkappa'. \end{aligned}$$

Werden die Werthe von $\varkappa$ (20) und $\varkappa'$ addirt, so ergibt sich nach gehöriger Reduktion

$$\varkappa + \varkappa' = \frac{1}{2} (\varphi + \psi)^2.$$

Die vorstehenden Werthe von PH müssen also, um die Totalwirkung oder das Moment des ganzen Kraftaufwandes auszudrücken, um den Theil

$$= \frac{\frac{1}{2} (\varphi + \psi)^2 - \varkappa}{\varkappa} = \frac{\varkappa'}{\varkappa}$$

vergrößert werden.

Diese Vermehrung oder der Werth von $\frac{\varkappa'}{\varkappa}$ beträgt

für $m = 60^\circ$	0.0600
„ $m = 75^\circ$	0.0947
„ $m = 90^\circ$	0.1386
„ $m = 100^\circ$	0.1718,

so daß z. B. für den Flügelschlag d) das ganze Kraftmoment des Niederschlages $= 11.487 (1 + 0.1386) = 13.079 \mathfrak{A}'$ statt 11.487 $\mathfrak{A}'$ beträgt.

Es ist hieraus ersichtlich, wie der Nutzeffekt der Hebung im Verhältnisse zum Kraftaufwande mit der Zunahme des Schlagwinkels abnimmt.

Der ganze Kraftverlust für die Hebung durch den Niederschlag ist $= \frac{z'}{z + z'}$, demnach

$$\text{für } 60^\circ = 0.0566$$

$$,, \quad 75^\circ = 0.0865$$

$$,, \quad 90^\circ = 0.1217$$

$$,, \quad 100^\circ = 0.1466,$$

wobei jedoch zu erinnern ist, dass diese Seitenwirkung aus dem schon früher angegebenen Grunde nicht als ein absoluter Kraftverlust anzusehen sey.

§. 237.

Betrachtet man die Kraftäufserung der Brustmuskeln, welche für diese verschiedenen Kraftmomente erforderlich ist, d. i. die Grösse oder Stärke des Zuges dieser Muskeln beim Niederschlage des Flügels, welcher diesen Momenten zugehört, so ist, wenn P_0 diesen Zug und μ , wie oben §. 216, die Entfernung der Anheftung des Brustmuskels am Oberarm von dem Flügelgelenke bezeichnet, $\mu(\varphi + \psi)$ der Weg, den vermöge der Kontraktion des Muskels der Anheftungspunkt zurücklegt, folglich das Moment der hier wirkenden Kraft $= P_0 \mu (\varphi + \psi)$. Diese Wirkung ist gleich der Wirkung eines Niederschlages des Flügels, die nach dem Vorigen (§. 236) für die ganze Wirkung durch $P h \left(1 + \frac{z'}{z}\right)$ gegeben ist; folglich ist

$$49) \quad P_0 = \frac{P h \left(1 + \frac{z'}{z}\right)}{\mu (\varphi + \psi)}.$$

Bei demselben Hebungs momente $P h$ wird also der Muskelzug um so grösser, je kleiner μ , nämlich je näher der Anheftungspunkt an dem Flügelgelenke liegt und je kleiner der Schlagwinkel.

Bestimmt man hiernach den Zug oder die Stärke der Kontraktion für Einen Brustmuskel, da beide gleichmäfsig wirken, so

ist, da für den Adler $\mu = 1'' 7''' = 0' 1319$ beträgt,

für die Normalwirkung $P_0 = 5.513$ Pf.

„ $n = 2$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{3}$ „ $= 8.080$ „

„ $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{3}$ „ $= 11.743$ „

„ $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 100^\circ$, $x = \frac{1}{3}$ „ $= 15.591$ „

„ $n = 3$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{3}$ „ $= 18.184$ „

„ $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 90^\circ$, $x = \frac{1}{2}$ „ $= 15.992$ „

„ $n = 2\frac{1}{2}$, $m = 75^\circ$, $x = 1$ „ $= 19.994$ „

„ $n = 2.198$, $m = 75^\circ$, $x = 1$ „ $= 15.255$ „

Je mehr daher x zunimmt für dasselbe Kraftmoment, desto größer wird der Muskelzug, weil dann dieselbe Wirkung in kürzerer Zeit oder kleinerem Raume zu leisten ist. Mit der Vergrößerung des Schlagwinkels vermindert sich dagegen der Zug des Brustmuskels.

§. 238.

Beim Schweben des Vogels werden die durch die Armmuskeln ausgespannten Flügel durch den Zug der Brustmuskeln in einer horizontalen Ebene, folglich in steifer Verbindung mit dem Körper erhalten. Nach §. 222 ist bei diesem Schweben im Niedersinken $\frac{\rho' n}{2g} u^2 W = P$, folglich auch

$$\left(\frac{1}{2} + 1 \right) \frac{\rho' n}{2g} u^2 F = P \frac{F'}{W},$$

wo F , die Fläche eines Flügels und W die gesammte Unterfläche bezeichnet, d. i. der Theil des Gewichtes P , der bei der Geschwindigkeit u durch den Widerstand eines Flügels getragen wird, ist $= P \frac{F'}{W}$. Ist nun der Widerstandspunkt des Flügels in dieser ausgespannten Lage $= k'$, so ist wegen der hier nothwendigen Gleichheit der statischen Momente

$$P_0 \mu = \frac{P F' k'}{W}, \text{ also } P_0 = \frac{P F' k'}{W \mu}.$$

Da jedoch in diesem Falle das Flügelgewicht selbst eben so wirkt, als wäre um dessen Gröfse der Muskelzug verstärkt, so muß dieses Gewicht P , auf den Widerstandspunkt des Flügels reduziert, oder wenn k'' die Entfernung des Schwerpunktes des Flügels bezeichnet, $P, \frac{k''}{k'}$ zu P'_0 addirt werden. Es fällt aber der Schwerpunkt des Flügels hier mit dem Widerstandspunkte nahe zusammen, folglich wird

$$P'_0 = \frac{P F, k'}{W \mu} - P,$$

Zur Bestimmung von k' ist zu bemerken, daß in diesem Falle der Widerstand auf den Flügel in allen seinen Punkten derselbe sey, sowohl an der Axe als gegen die Flügelspitze, weil alle Theile gleichmäfsig mit der Geschwindigkeit u sinken. Es ist sonach wegen der parabolischen Form des Flügels nach §. 151, wenn b die Flügelbreite

$$\int (b - x) y dy = \int b y dy - \frac{y^3 dy}{a} = \frac{b y^2}{2} - \frac{y^4}{4a} = k' F,$$

und für

$$y = l, a = \frac{l^2}{b}, F = \frac{2}{3} b l, k' = \frac{3}{8} l.$$

In dieser Entfernung vom Flügelgelenke liegt auch, nach den mit ausgespannten Flügeln vorgenommenen Versuchen, ziemlich nahe der Schwerpunkt des Flügels.

Demnach wird

$$50) P'_0 = \frac{P F,}{W} \cdot \frac{3l}{8\mu} - P.$$

Sinkt der Vogel unter dem Winkel i , so ist $\frac{P F,}{W} \cdot \frac{3l}{8\mu}$ mit $\cos i$ zu multiplizieren.

§. 239.

Für den Adler ist nach den früher gegebenen Bestimmungen $W = 7\frac{1}{4}$ Q. F., $F, = 2\frac{1}{2}$ Q. F. (mit Einschluss der ent-

sprechenden Wirkung der Ruderfedern), demnach für denselben, da $P_1 = 0.6$ Pfund,

$P'_0 = 16.55$ Pfund,

Für $i = 10^\circ$ wird $P'_0 = 16.28$.

Dieser Zug des Brustmuskels, der nahe auch derselbe bei dem Flügelschlage für $n = 2\frac{1}{2}$ und $x = \frac{1}{2}$ ist, wird nur durch eine mäßige Anstrengung dieses Muskels bewirkt. Denn der Deltamuskel eines männlichen Individuums mittlerer Gröfse wiegt 10 Loth; der mittlere Anheftungspunkt dieses Muskels am Oberarm liegt etwa 5 Zoll vom Gelenke, die Länge des Armes mit geballter Faust ist $= 24''$, das Gewicht $= p' = 7$ Pfund; der Schwerpunkt liegt nahe in der Mitte, folglich ist $\frac{k}{\mu} = \frac{1.2}{5} = 2.4$. Nun ist der Zug dieses Muskels, wenn der Arm horizontal ausgestreckt wird $= \frac{k}{\mu} p' = 2.4 \times 7 = 16.8$ Pf., was eine mittlere Anstrengung ist, die dieser Muskel auszuhalten hat, da er im Stande ist, den gestreckten Arm selbst noch mit einem bedeutenden Gewicht in der Hand horizontal zu halten. Da nun ein Brustmuskel des Adlers, von welchem die obigen Dimensionen genommen sind, 13 Loth wiegt, so erhellet aus dieser Vergleichung, dafs die Anstrengung dieses Muskels im Schweben und im Fluge nur mäßig sey gegen diejenige, welche er auszuüben im Stande wäre. Man mufs daher annehmen, dafs die verhältnismäßig gröfsere Stärke der Brustmuskeln hauptsächlich auf die anhaltendere Dauer der Flugbewegungen berechnet sey. Übrigens steht die Gröfse dieser Muskeln nach (49) mit dem Werthe von $\frac{\mu}{k}$ (§. 217) im verkehrten Verhältnisse.

Eine gleichmäßige Spannung eines Muskels kann nicht lange Zeit andauern, daher ist der Vogel auch genöthigt, bei längerem Schweben von Zeit zu Zeit einige Flügelschläge zu machen. Doch gestattet die zeitweise Ruhe der sämtlichen Flugmuskeln eine

bedeutende Erholung, etwa in derselben Art, als der Mensch vom Gehen ausruht, wenn er steht.

Aus der obigen Formel für P'_0 ergibt sich, daß P'_0 kleiner werde 1) wenn W gegen F , 2) wenn μ gegen k' oder l größer wird. Außer F , dessen Werth durch die Länge und Breite des Flügels gegeben ist, wird die Gröfse von W hauptsächlich durch die Schwanzfläche bedingt. Vögel, besonders zum Schweben eingerichtet, haben daher nicht nur einen langen, sondern auch wegen der Federbreite stark ausgebreiteten Schwanz. Beim Adler z. B. ist die ausgebreitete Schwanzfläche der halben Fläche des Flügels gleich. Der Werth von μ wird, wie oben §. 217 nachgewiesen ist, verhältnißmäfsig größer bei den größeren mehr zum Schweben geschickten Vögeln. Es ist wahrscheinlich, daß die erste Portion des Brustmuskels (§. 85), die an dem von dem Umdrehungspunkte entfernteren Theile der Leiste des Oberarmbeinkopfes inserirt, hauptsächlich bei diesem Schweben thätig ist. Nimmt man in dieser Beziehung die mittlere Insertionsentfernung dieser Portion des Brustmuskels beim Adler, so wird $\mu = 2'' 4$, demnach unter dieser Voraussetzung für das horizontale Schweben $P'_0 = 10.70$ Pfund.

§. 240.

Aus dem Vorigen ergibt sich, daß für den Zweck der Ortsveränderung die Muskelkraft der Vögel diejenige der übrigen Thiere nicht überschreitet. Der Unterschied liegt nur darin, daß sie eine andere Lage hat. Was für die Ortsveränderung beim Menschen die Schenkel sind, sind beim Vogel die Arme, daher hier wie dort die stärksten Muskeln. Bei der mittleren Kraftanstrengung des Fluges beträgt nach §. 236 das Kraftmoment beiläufig das anderthalbfache Gewicht des Vogels, oder dieses Gewicht in einer Sekunde auf $1\frac{1}{2}$ Fufs gehoben. Diese Kraftäußerung übt der Mensch ohne große Anstrengung aus, indem er eine Treppe

oder eine mit Stufen versehene Anhöhe hinaufsteigt. Hat sich der Vogel durch die ersten angestregten Flügelschläge einmal gehoben, und er zieht dann mit der geringsten Geschwindigkeit horizontal fort, so beträgt (§. 236) sein Kraftmoment noch nicht $\frac{2}{3}$ des Gewichtes, d. i. dieses Gewicht in einer Sekunde auf $\frac{2}{3}$ Fufs gehoben. Beim Fluge des Vogels ist, wie sich aus §. 236 ergibt, ein geringer Kraftverlust vorhanden, der wohl auch bei der Muskelbewegung keines anderen Thieres geringer ist. Es wäre nach allem Bisherigen überflüssig, hier über die ungeheure Muskelkraft, welche die Vögel im Fluge ausüben sollen, die verschiedenen zum Theil abenteuerlichen Meinungen, die von *Borelli* und seinen Nachfolgern aufgestellt wurden, weiter zu beleuchten; da die vorhergehenden Untersuchungen hierüber die mathematisch begründeten Nachweisungen enthalten; übrigens schon die Betrachtung, daß die Struktur des Vogelflügels viel zu schwach ist, um solchen außerordentlichen Kraftäufserungen zu widerstehen, zu einer besseren Erkenntniß hätte führen können.

§. 241.

In der Ertheilung des Flugorganismus an die Thiere ist die Natur nicht sparsam verfahren, wie die Insektenwelt beweiset, in der die Beflügelung selbst bis zur mikroskopischen Gröfse herabgeht. Sie hat hier selbst gezeigt, daß diese Beflügelung nicht nothwendig durch eine eigene Konformation des Körpers bedingt sey, indem einige jener Thiere, wie die Ameisen, nur periodisch Flügel tragen. Aber ohne Zweifel ist auch durch die Gröfse der Dimension dem Flugorganismus keine Grenze gesetzt. Die Verbreitung und Vermehrung der Thiergattungen hängt allgemein von dem Stande ihrer Nahrungsverhältnisse ab. Je mehr die Dimensionen der Flieger zunehmen, desto größer wird ihr Nahrungsbedarf, der überhaupt bei der größeren, mit der größeren Muskelthätigkeit im Verhältnisse stehenden, Ausdehnung ihres Respi-

rationssystems verhältnißmässig gröfser ist als bei Säugethieren. Gewisse Vögelgattungen, wie die Flamingo's und Pelikane, sehen wir daher nur noch da in grofser Zahl, wo sie leicht ihre Nahrung finden, wie an den grofsen Flüssen und Sümpfen Südamerikas. So wie die Kultur des Bodens sich ausbreitet, vermindert sich der Nahrungskreis der grofsen fleischfressenden Vögel, und sie verschwinden allmähig. So hat sich der Geieradler aus Europa nach und nach in die Alpenregion zurückgezogen, und wird auch hier in nicht ferner Zeit verschwinden. Der Kondor Südamerikas findet noch seine Nahrung unter den zahlreichen Herden dieser Landstriche, und wenn einmal diese Wildnisse der Kultur anheimfallen werden, so wird auch dieser gröfste der Vögel, allmähig in seinen Dimensionen verkümmert, nach und nach untergehen.

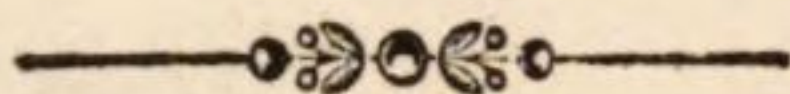
Man kann daher mit grofser Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs in der Zeit, in welcher die Megalosaurier lebten, wo bei einem auf der Erdoberfläche in einer viel breiteren Zone herrschenden tropischen Klima, eine ungeheure Zahl von Binnen-Seen und Sümpfen eine übermächtige Vegetation und dadurch die Verbreitung und Erhaltung einer zahllosen Menge amphibienartiger Thiere begünstigte, auch viel gröfsere Vögel vorhanden waren, als heut zu Tage bei den ungleich mehr beschränkten Nahrungsverhältnissen. Wenn im Verlaufe der Zeit die Binnen-Gewässer, periodisch durch Regen angeschwellt, sich durch die einengenden Gebirgsgräten allmähig ihren Weg zu einem gemeinschaftlichen Meere bahnten, und dadurch die, vielleicht durch unterirdische Bewegungen gleichzeitig noch mehr gehobenen, Gebirgszüge und ihre Thäler blofslegten, während die alten Thäler und Senkungen der Erdoberfläche, in denen die höchste Temperatur und üppigste Vegetation herrschte, mit Wasser bedeckt wurden; so mufste der gröfste Theil jener Thiere untergehen, und der übrig bleibende wurde auf eine viel schmalere und trockenere heifse Zone beschränkt, da die

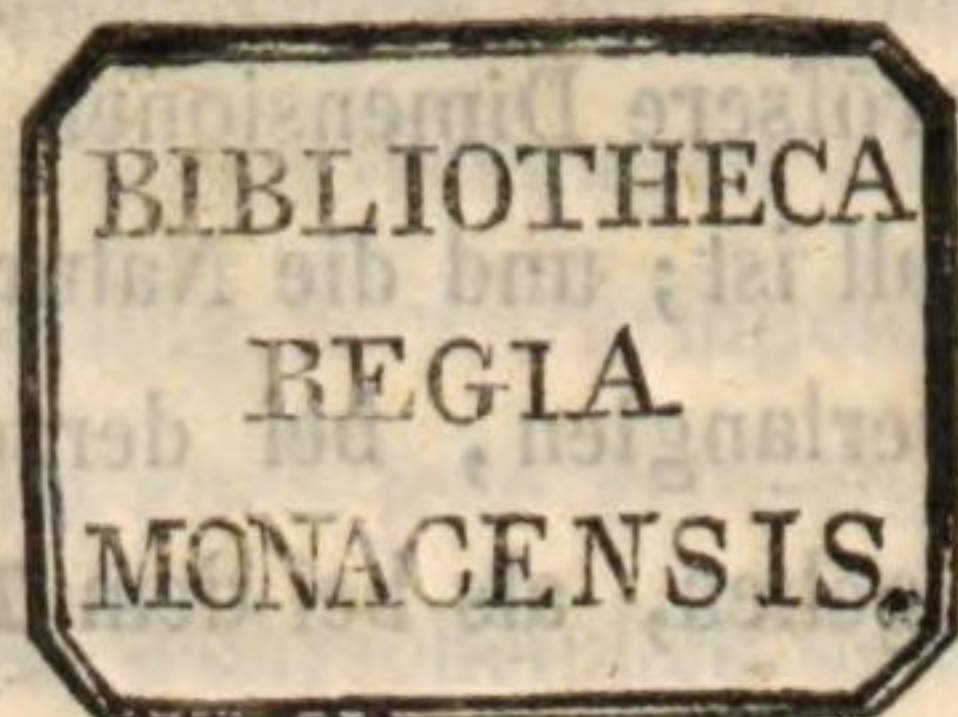
durch die neuen Unebenheiten der Erdoberfläche bewirkten, verhältnismässig trockenen Luftströmungen nothwendig eine bedeutende Temperaturverminderung hervorbringen mußten. Unter diesen Umständen konnten dann auch jene grossen Vögel, die in der letzten Periode jener Vorzeit wahrscheinlich dem *Dinornis giganteus* von Owen gleichzeitig waren, nicht ferner bestehen. Da in dieser letzten Periode zweifelsohne schon Menschen lebten, so läßt sich daraus die bei allen Völkern herrschende Tradition von grossen Vögeln (Greifen) erklären.

Die anatomischen und mechanischen Verhältnisse setzen nach dem gegenwärtigen Organismus einer solchen Vergrößerung keine Schwierigkeit entgegen. Wenn wir die dreifache Grösse des weisköpfigen Geiers (§. 118) annehmen, so erhalten wir einen Vogel, dessen Flügellänge 12 Fufs, oder die Flügelspannung von Spitze zu Spitze 26', die Flügelbreite $4\frac{1}{4}'$ beträgt, und der ein Gewicht von 400 Pfunden hat. Die Länge des Oberarms würde 30" und jene des Vorderarms $37\frac{1}{2}"$ betragen. Diese Knochenlänge hat beiläufig die *Tibia* des *Dinornis* nach Owen. Bei jenem Geier beträgt die Länge der längsten Schwungfeder von der Spitze der Spule an gemessen $= 23\frac{1}{2}"$, die Länge der Spule $= 4\frac{1}{2}"$, ihr Durchmesser $= 5'''$. Demnach würde für den dreimal grösseren Vogel die Länge der grössten Schwungfeder beiläufig 6' betragen, die Länge der Spule 15" und ihr Durchmesser $1\frac{1}{4}"$.

Mit dem Flügelschlage des Adlers für $n = 2$ verglichen, würde für einen solchen Vogel nach §. 220 $n = 0.979$, oder er macht sehr nahe einen Flügelschlag in einer Sekunde. Bei diesem Flügelschlage würde die Geschwindigkeit des Flügels im Widerstandspunkte $= 27.8$, und die erlangte Geschwindigkeit $= 96'$ in einer Sekunde betragen.

Diese Grösse, deren Dimension sich nahe verhält, wie jene der Krähe zum Geier, kann keineswegs als eine äusserste Grenze





Verbesserungen.

			statt	lese man
Seite 45	Zeile 16	}		
» 47	» 19		von oben »Oberarm«	»Vorderarm«
» 202	» 19			
» 62	» 5		von unten »Lufthöhle«	»Brusthöhle«
» 87	» 9		» » »unterbrochene«	»ununterbrochene«
» 132	» 16		von oben »ausgespannte«	»ausgebreitete«

Fig. 1.

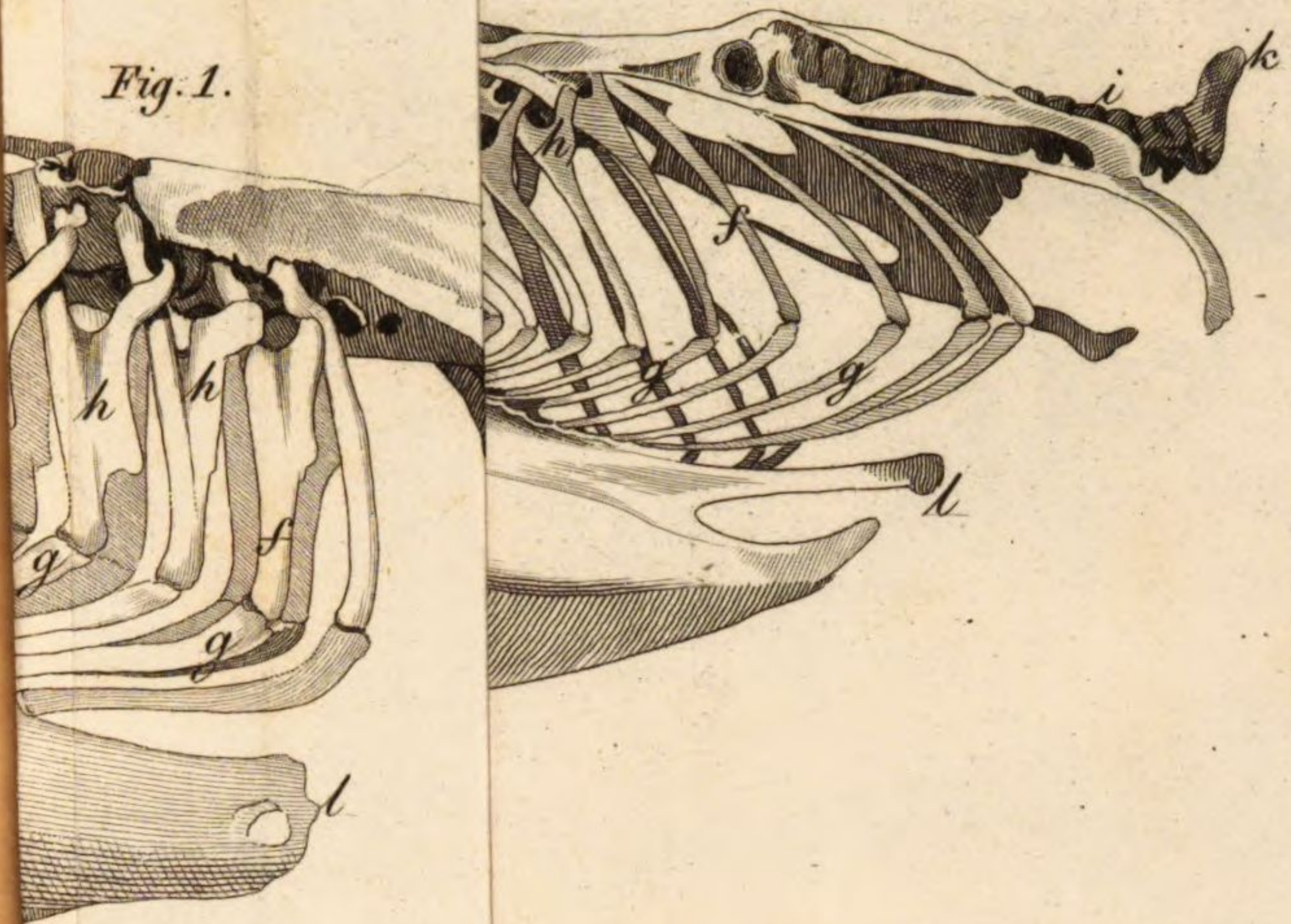


Fig. 4.

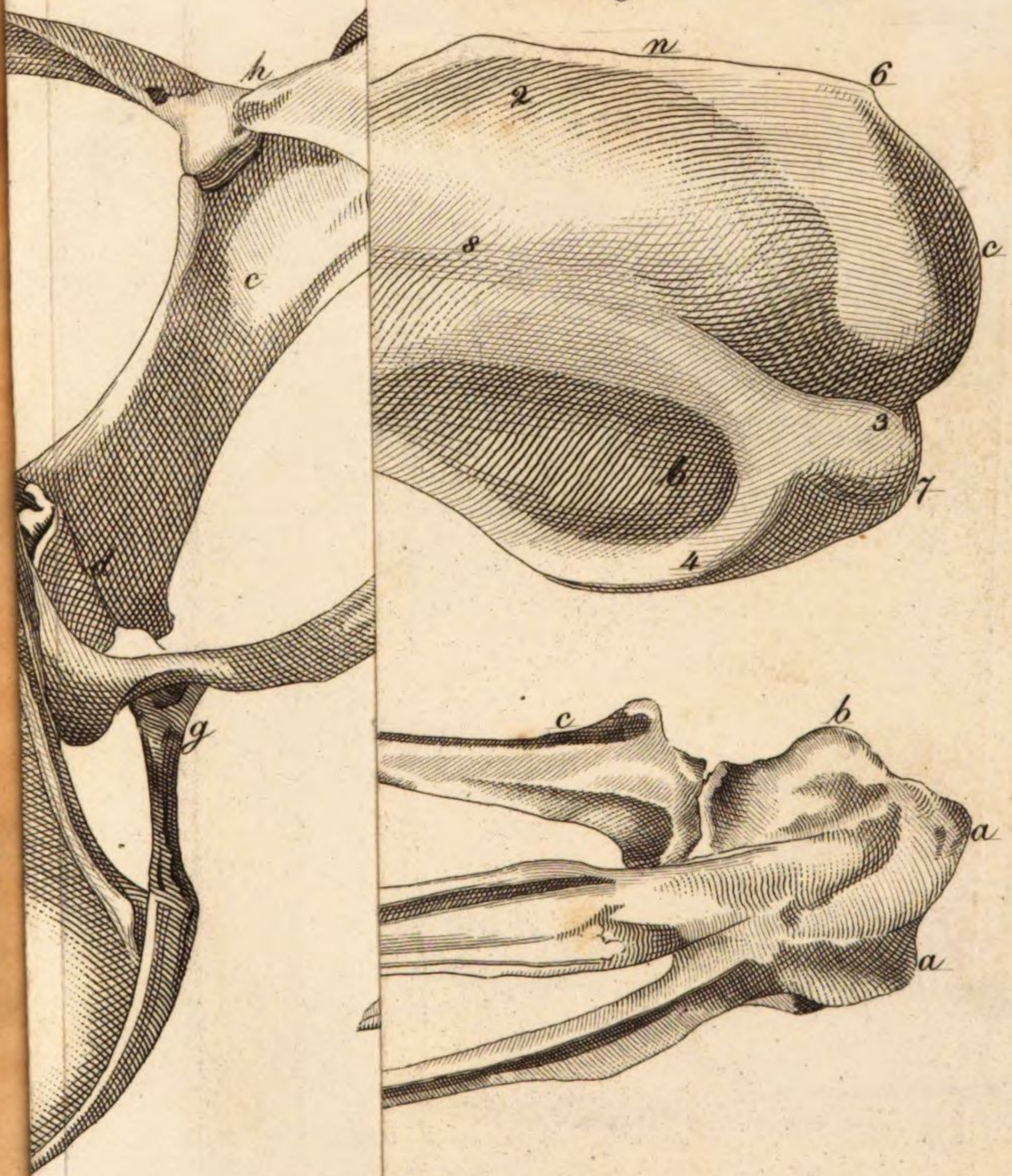
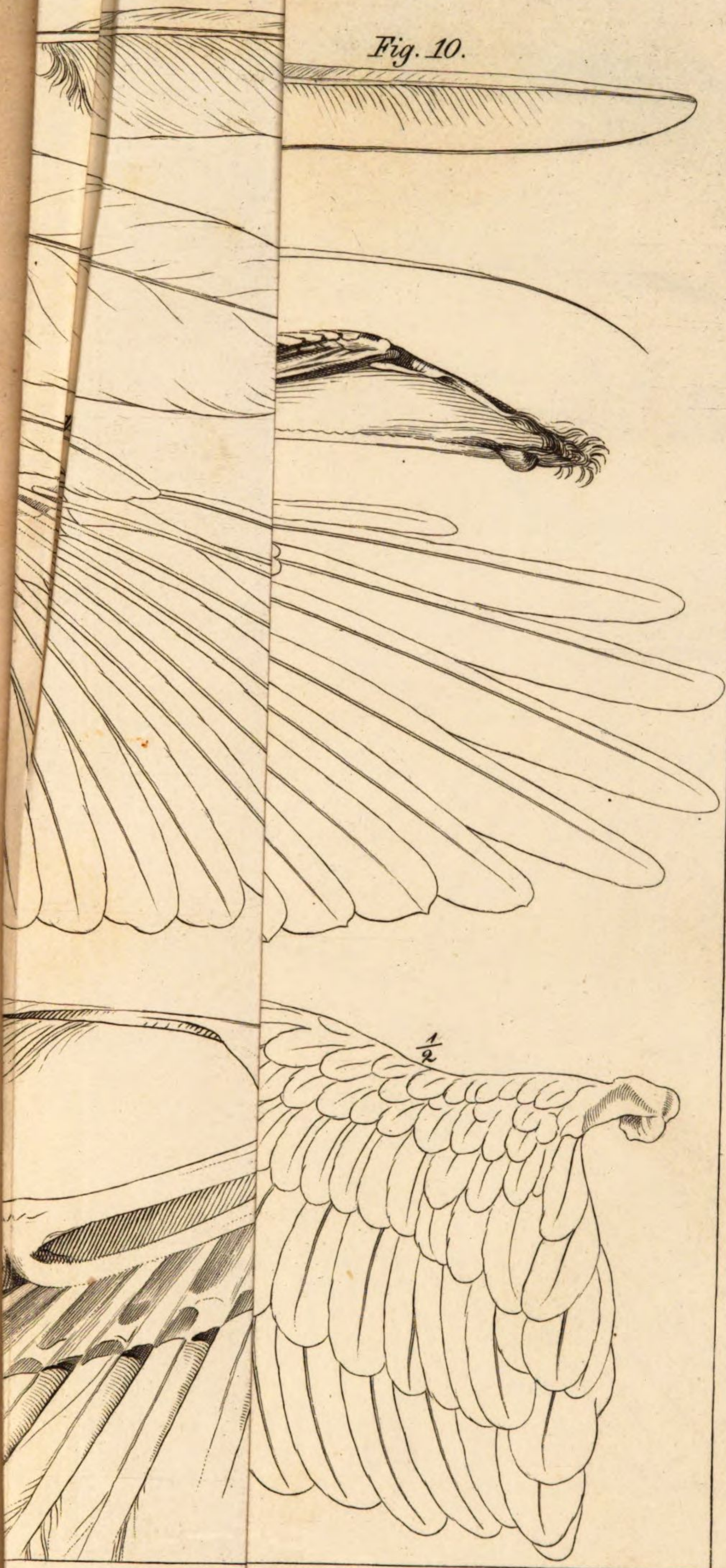


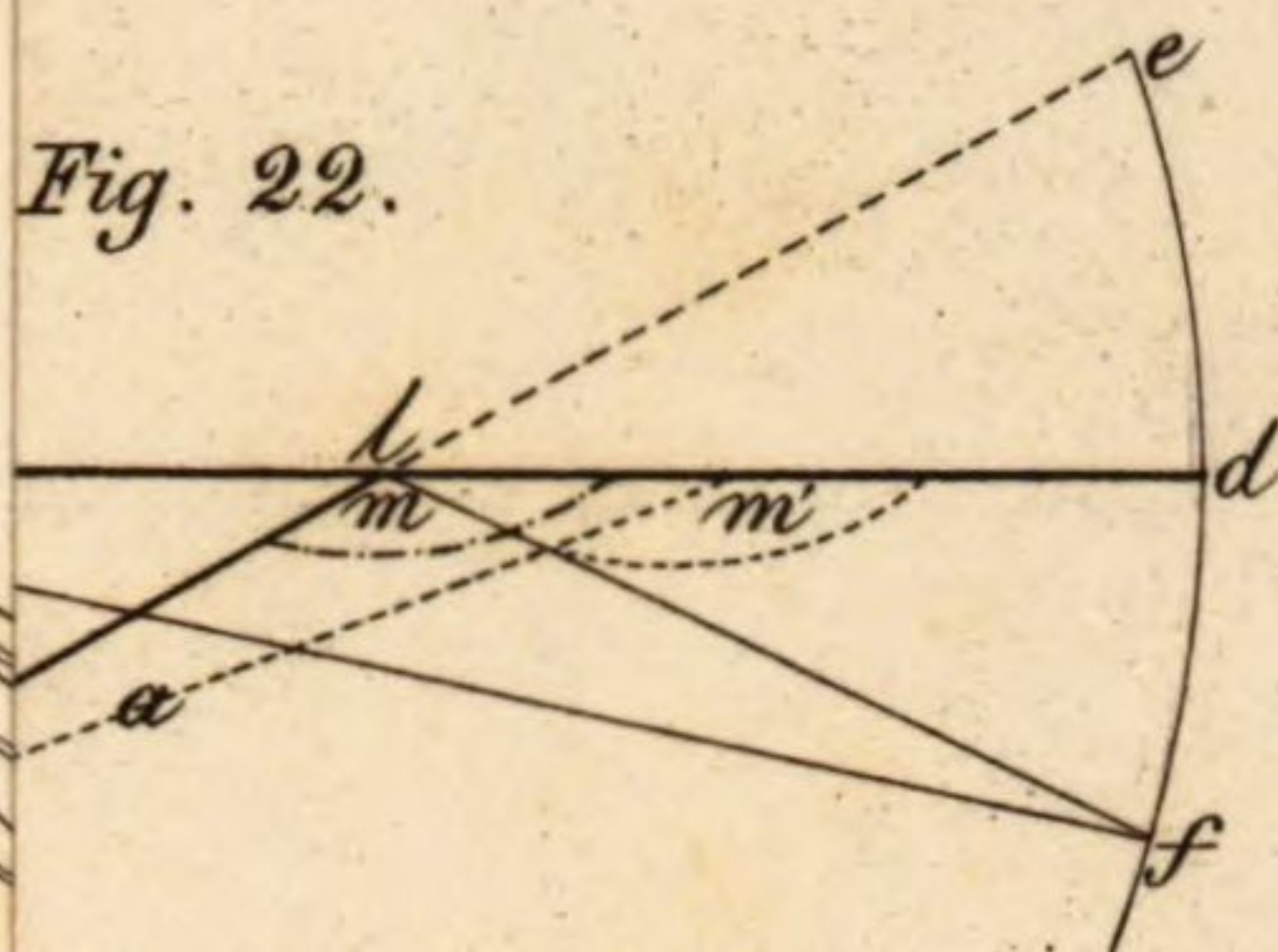
Fig. 10.



M. Aigner sc.



Fig. 22.



F. 19.

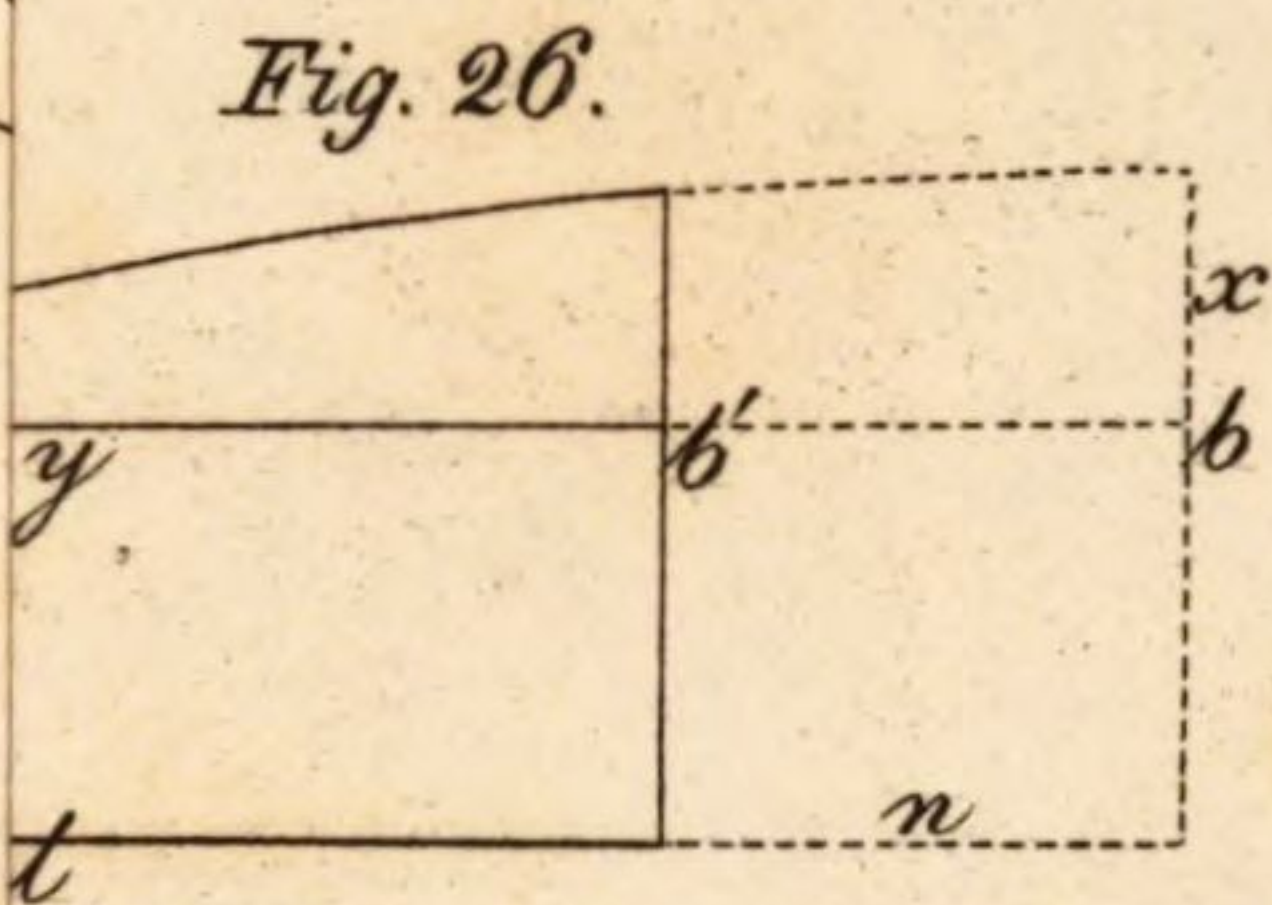


Fig. 26.

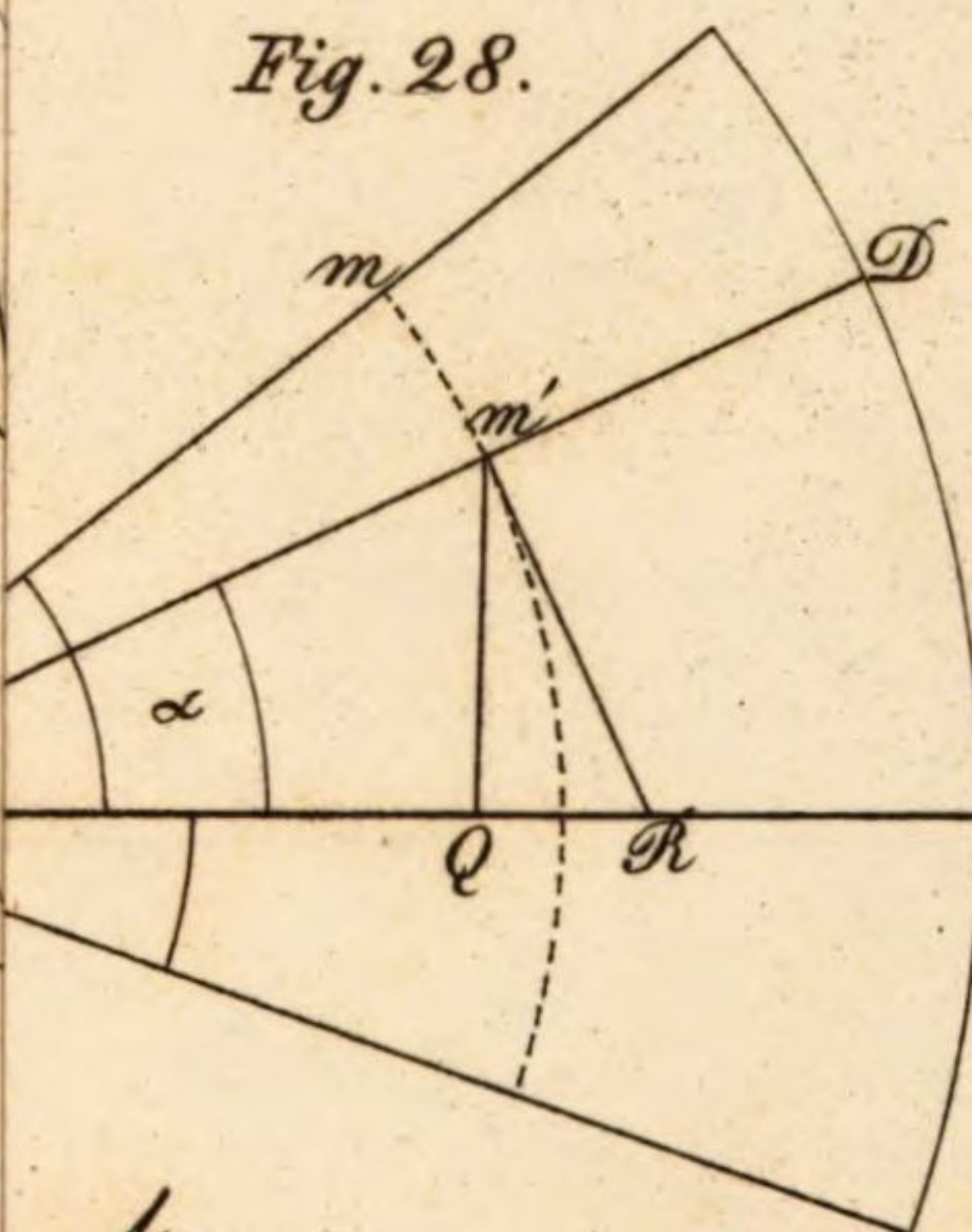


Fig. 28.

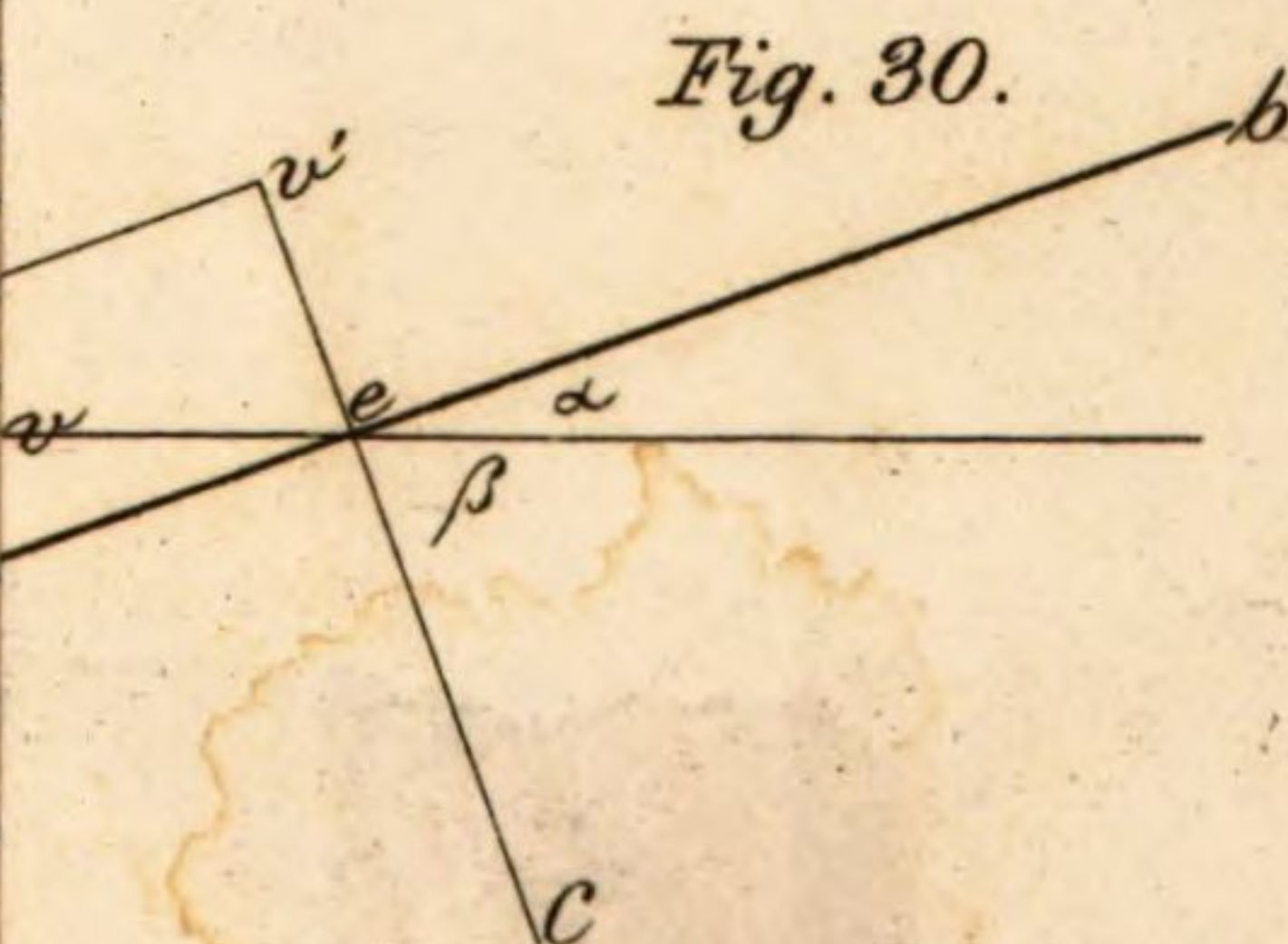
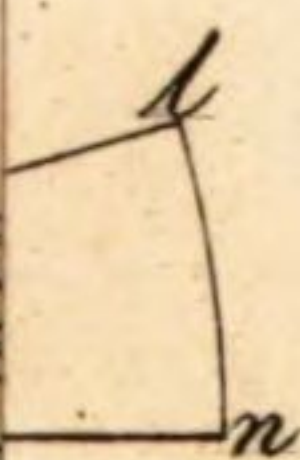


Fig. 30.

ON THE
A 105



Precht, Johann Joseph <<von>>,

Untersuchungen über den Flug der Vögel

Wien 1846

Zool. 419 f

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10308603-0